

TEMPERATURY EKSTREMALNE W POLSCE W LATACH 1951–2006

Zuzanna Bielec-Bąkowska, Katarzyna Piotrowicz

Extreme temperatures in Poland 1951–2006

Abstract: The paper identifies trends in the change in extreme air temperature characteristics, including the average, maximum and minimum temperatures, at 22 Polish weather stations during the period 1951–2006. The statistical analysis included the determination of ≤ 10 and ≥ 90 percentile temperatures, the number of extremely cold days ($T_{\min} \leq -30^{\circ}\text{C}$), extremely hot days ($T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$) and hot nights ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$). It was found that the trends in the air temperature were not only related to changes in thermal conditions observed across Central Europe, but were often synchronised. In the long-term, there was a gradual increase in the temperatures, as was the number of extremely hot days, while the number of extremely cold days was falling. Around the year 2000, there were seasons and entire years that reached very high temperatures to the point, in some cases, of extreme values. Indeed, this was a period with the highest air temperatures since the beginning of instrument-based records. It also involved an increase in the number of extremely hot days and a decrease in the number of extremely cold days thus confirming trends observed earlier in these two types of days in Poland. A comparison of the long-term change in the maximum and minimum air temperatures reveals that their average annual values are always statistically significant, which suggests a warming of the region's climate. The picture changes, however, when looking at seasonal and monthly values, both average and exceptionally high or low; and the change becomes less clear and mostly statistically insignificant over a large proportion of the country. This is confirmed by the results of long-term studies into the variability of extreme thermal conditions in the southeastern Polish region of Malopolska in the second half of the 20th century (Bielec-Bąkowska and Łupikasza 2007). This may mean that the intensity of the climate warming observed is not high enough to be translated into a visible change in extreme conditions.

The sources of variability of the thermal conditions in Poland also remain debatable. Natural factors, prominently featuring atmospheric circulation, seem highly influential, but are also strengthened by antropopressure, including the urban heat island. This latter proposition is confirmed by the fact that the temperature increase observed greatly exceeds the natural climatic variability (IPCC 2007).

Keywords: air temperature, extremely cold and hot days, Poland

Zarys treści: W pracy określono tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce w latach 1951–2006. W tym celu wykorzystano dobowe dane z 22 stacji meteorologicznych, w tym m.in. skrajne wartości temperatury powietrza (≤ 10 i ≥ 90 percentyla), liczbę dni niezwykle mroźnych ($T_{\min} \leq -30^{\circ}\text{C}$), bardzo upalnych ($T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$) i nocy gorących ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$). Stwierdzono, że tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce nawiązują do zmian warunków termicznych w całej Europie Środkowej, a w wielu przypadkach ich przebieg był synchroniczny. W wieloletnim przebiegu można zauważyć stopniowy wzrost temperatury powietrza. Zwykle jest on większy w przypadku zmian najniższych wartości temperatury. Wzrasta również liczba dni bardzo upalnych, spada natomiast liczba dni niezwykle mroźnych.

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, ekstremalnie mroźnie i gorące dni, Polska

Wstęp

W ostatnich latach opublikowano wiele opracowań, w których autorzy badali zmiany klimatu Europy w skali regionalnej na podstawie średnich rocznych lub sezonowych wartości temperatury powietrza (Brunetti i in. 2000; Degirmendzić i in. 2004; Moberg, Jones 2005; Lorenc 2007). Szczególnie cenne są badania dotyczące sezonowego zróżnicowania klimatu, gdyż od lat 90. XX w. obserwuje się duże zmiany temperatury w poszczególnych porach roku (Kożuchowski i in. 2000; Kożuchowski i Żmudzka 2001; Wibig i Głowicki 2002). Wielokrotnie też przedmiotem analizy była wieloletnia zmienność dni charakterystycznych (Cebulak 1999; Cebulak i Limanówka 2007; Kossowska-Cezak 2003, 2005; Kossowska-Cezak, Skrzypczuk 2011; Limanówka 1999; Piotrowicz 2002–2003, 2003, 2005a,b, 2007a,b), głównie dni gorących i upalnych, których częstość z końcem XX w. wyraźnie wzrosła, i to nie tylko w Polsce, ale i na znacznym obszarze Europy (Kysely 2002; Alexander i in. 2006).

Wymienione zagadnienia stanowią jeden z głównych problemów badawczych współczesnej klimatologii. Otrzymane rezultaty pozwalają na poznanie tendencji i zakresu zmian klimatu. Poznanie zmian temperatury, ich przyczyn, relacji ze zmianami innych elementów meteorologicznych oraz ich prognoz na najbliższą przyszłość pozwala na lepsze przygotowanie się do zmian zachodzących w środowisku. Ze względu na możliwość adaptacji do zmieniających się warunków przyrodniczych oraz poważnych skutków, jakie powodują w naszym codziennym życiu, bardzo

ważne są nie tylko kierunek i tendencja zmiany wartości temperatury średniej, minimalnej czy maksymalnej, lecz także częstość występowania ekstremalnych zdarzeń klimatycznych. Do zdarzeń tych zaliczyć można m.in. występowanie dni z wyjątkowo wysoką i niską temperaturą powietrza, tzw. dni charakterystycznych (gorących, upalnych, mroźnych, bardzo mroźnych), nocy gorących (tropikalnych) oraz dni z temperaturą powyżej (poniżej) określonych wartości percentyli.

Z tego powodu w niniejszym opracowaniu postanowiono zbadać tendencje zmian temperatury powietrza (średniej, maksymalnej i minimalnej) oraz ekstremalnych zdarzeń (zjawisk) termicznych w Polsce w latach 1951–2006. Zbadano nie tylko ich zmienność wieloletnią, ale również zróżnicowanie przestrzenne i zmiany sezonowe ze szczególnym uwzględnieniem wystąpienia wyjątkowych wartości temperatury.

Materiały źródłowe i metody opracowania

W pracy wykorzystano dane z 22 stacji meteorologicznych w Polsce reprezentujących cały obszar kraju (tab. 1). Zawierały one średnie roczne, miesięczne i dobowe wartości średniej, maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza z lat 1951–2006. Dane te pochodzą ze stacji synoptycznych wchodzących w skład sieci IMGW, a badania, których wyniki są prezentowane w niniejszej pracy, zostały wykonane ramach Projektu Zamawianego przez Ministerstwo Środowiska pod tytułem *Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne i hydrologiczne w Polsce (ocena zdarzeń oraz prognozowanie ich skutków dla środowiska życia człowieka)*.

Analizie poddano wartości absolutne (maksimum i minimum), skrajne, czyli temperaturę minimalną nieprzekraczającą 10 percentyla (T_{10p}) i temperaturę maksymalną wyższą od 90 percentyla (T_{90p}) wszystkich analizowanych wartości temperatury oraz liczbę dni niezwykle mroźnych ($T_{\min} \leq -30^{\circ}\text{C}$), bardzo upalnych ($T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$) i nocy gorących ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$). Określając tendencję zmian, posłużono się równaniem regresji liniowej, a wielkość zmian obliczono w poszczególnych sezonach oraz w całym roku.

Średnie miesięczne i roczne wartości temperatury powietrza

W latach 1951–2006 najwyższą średnią roczną temperaturą powietrza charakteryzowały się stacje w Legnicy i Słubicach – $8,8^{\circ}\text{C}$ (tab. 1), a na większości stacji najcieplejszy okazał się rok 2000. Najniższe średnie roczne wartości temperatury występowały na stacjach górskich – na Kasprowym Wierchu ($-0,6^{\circ}\text{C}$), na Śnieżce ($0,7^{\circ}\text{C}$) i w Zakopanem ($5,3^{\circ}\text{C}$), poza górami natomiast – w Suwałkach – $6,3^{\circ}\text{C}$ (tab. 1).

Na większości uwzględnionych stacji najcieplejszym miesiącem był lipiec, rzadziej sierpień, najchłodniejszym zaś styczeń, rzadziej luty. W ciągu roku średnia miesięczna

Tabela 1. Średnie miesięczne i roczne wartości średniej (T_{sr}), maksymalnej (T_{max}) i minimalnej (T_{min}) temperatury powietrza w latach 1951–2006

Table 1. The average monthly and annual average (T_{sr}), maximum (T_{max}) and minimum (T_{min}) air temperature during 1951–2006

Stacje/Stations		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok/ Year
Bielsko-Biała	T_{sr}	-1,9	-1,0	2,6	7,7	12,6	15,6	17,3	17,0	13,4	9,1	3,9	-0,1	8,1
	T_{max}	1,2	2,3	6,5	12,3	17,6	20,6	22,4	22,1	18,0	13,3	7,1	2,8	12,2
	T_{min}	-5,2	-4,3	-1,1	3,2	7,6	10,8	12,5	12,2	9,1	5,3	0,8	-3,1	4,0
Chojnice	T_{sr}	-2,6	-2,0	1,2	6,5	11,9	15,3	17,0	16,5	12,5	7,9	2,7	-0,8	7,2
	T_{max}	-0,4	0,7	4,9	11,5	17,5	20,6	22,3	21,9	17,3	11,6	4,9	1,2	11,2
	T_{min}	-5,1	-4,8	-2,1	2,0	6,6	10,0	11,9	11,7	8,4	4,7	0,5	-3,0	3,5
Hel	T_{sr}	-0,3	-0,4	1,7	5,5	10,4	14,7	17,2	17,3	13,9	9,6	4,8	1,6	8,0
	T_{max}	1,3	1,5	4,6	9,7	15,1	19,2	21,4	21,3	17,4	12,1	6,5	3,2	11,2
	T_{min}	-2,2	-2,5	-0,9	2,0	6,2	10,6	13,5	13,8	10,9	7,1	3,0	-0,2	5,2
Jelania Góra	T_{sr}	-2,2	-1,3	2,2	6,6	11,7	14,9	16,4	15,8	12,2	8,0	3,0	-0,6	7,3
	T_{max}	1,8	3,1	7,1	12,3	17,5	20,6	22,4	22,2	18,2	13,6	7,1	3,1	12,5
	T_{min}	-6,6	-5,8	-2,5	1,1	5,4	8,7	10,4	9,7	6,8	3,0	-1,0	-4,6	2,1
Kalisz	T_{sr}	-2,0	-1,1	2,6	7,9	13,2	16,5	18,2	17,8	13,6	8,8	3,5	-0,2	8,3
	T_{max}	0,6	2,1	6,6	13,0	18,7	22,0	23,8	23,6	18,9	13,3	6,4	2,2	12,6
	T_{min}	-4,5	-3,9	-0,7	3,4	8,0	11,3	13,0	12,7	9,2	5,1	1,0	-2,4	4,4
Kasprowy Wierch	T_{sr}	-8,1	-8,4	-6,4	-2,6	2,3	5,5	7,4	7,4	4,2	1,1	-3,6	-6,6	-0,6
	T_{max}	-5,3	-5,7	-3,7	0,0	5,1	8,7	10,7	10,6	7,1	3,9	-1,0	-3,9	2,3
	T_{min}	-10,9	-11,1	-9,1	-5,1	-0,1	3,1	4,9	5,0	1,8	-1,5	-6,1	-9,3	-3,2
Katowice	T_{sr}	-2,3	-1,1	2,6	8,0	13,1	16,3	17,9	17,3	13,3	8,7	3,5	-0,5	8,1
	T_{max}	0,7	2,5	7,1	13,3	18,7	21,6	23,4	23,1	18,6	13,6	6,7	2,2	12,7
	T_{min}	-5,5	-4,6	-1,5	2,9	7,4	10,8	12,4	11,9	8,5	4,4	0,4	-3,4	3,7

Stacje/Stations		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok/ Year
Legnica	T_{sr}	-0,9	-0,1	3,5	8,3	13,3	16,5	18,3	17,8	13,9	9,3	4,2	0,8	8,8
	T_{max}	2,0	3,3	7,8	13,5	18,8	22,0	24,1	23,8	19,5	14,1	7,4	3,6	13,4
	T_{min}	-4,0	-3,4	-0,2	3,4	7,7	11,1	12,7	12,3	9,2	5,1	1,2	-2,1	4,5
Lesko*	T_{sr}	-3,0	-1,8	1,9	7,4	12,4	15,3	17,0	16,4	12,6	8,4	3,3	-1,0	7,5
	T_{max}	0,2	1,7	6,3	12,7	18,0	20,8	22,5	22,2	17,9	13,2	6,5	1,6	11,7
	T_{min}	-6,1	-5,1	-2,0	2,5	7,0	10,1	12,0	11,4	8,2	4,5	0,5	-3,7	3,4
Łódź	T_{sr}	-2,6	-1,7	2,0	7,7	13,2	16,4	18,0	17,5	13,2	8,4	3,1	-0,7	7,9
	T_{max}	0,1	1,5	6,1	12,8	18,6	21,8	23,6	23,3	18,5	12,9	5,9	1,7	12,3
	T_{min}	-5,3	-4,7	-1,5	3,0	7,8	11,0	12,6	12,3	8,7	4,7	0,6	-3,1	3,9
Poznań	T_{sr}	-1,6	-0,9	2,7	8,0	13,3	16,7	18,4	17,8	13,6	8,8	3,6	0,1	8,4
	T_{max}	1,0	2,3	6,9	13,3	19,0	22,3	24,0	23,6	18,9	13,2	6,4	2,5	12,8
	T_{min}	-4,4	-4,0	-0,9	2,9	7,7	11,1	12,9	12,4	9,0	5,0	1,0	-2,3	4,2
Rzeszów**	T_{sr}	-3,2	-2,1	2,0	8,0	13,2	16,5	18,2	17,5	13,3	8,5	3,3	-0,9	7,9
	T_{max}	-0,2	1,4	6,5	13,6	19,2	22,3	24,1	23,6	18,9	13,4	6,4	1,6	12,6
	T_{min}	-6,5	-5,5	-1,9	2,6	7,2	10,6	12,4	11,8	8,3	4,2	0,3	-3,7	3,4
Ślubice	T_{sr}	-0,6	0,0	3,5	8,1	13,2	16,6	18,3	17,5	13,6	9,1	4,3	1,0	8,8
	T_{max}	2,3	3,7	8,2	13,8	19,1	22,3	24,1	23,7	19,4	14,0	7,3	3,6	13,5
	T_{min}	-3,7	-3,5	-0,7	2,6	7,1	10,6	12,4	11,6	8,6	4,9	1,3	-1,7	4,2
Suwałki	T_{sr}	-4,5	-4,3	-0,6	6,0	12,0	15,4	17,1	16,4	11,9	6,8	1,5	-2,4	6,3
	T_{max}	-2,1	-1,4	3,2	11,0	17,5	20,7	22,5	22,0	16,8	10,7	3,7	-0,3	10,4
	T_{min}	-7,2	-7,4	-4,2	1,5	6,4	9,9	11,8	11,2	7,5	3,5	-0,7	-4,8	2,3
Śnieżka	T_{sr}	-6,7	-6,9	-4,9	-1,3	3,6	6,8	8,6	8,6	5,4	2,1	-2,5	-5,2	0,7
	T_{max}	-4,1	-4,4	-2,4	1,3	6,5	9,7	11,4	11,4	7,9	4,7	-0,1	-2,7	3,3
	T_{min}	-9,2	-9,2	-7,2	-3,5	1,3	4,5	6,4	6,5	3,3	-0,2	-4,8	-7,6	-1,6

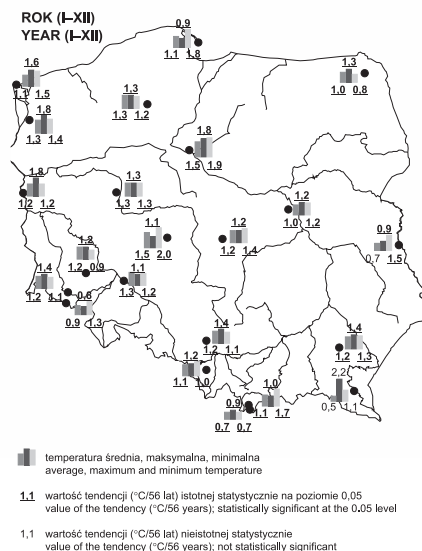
Stacje/Stations		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok/ Year
Świnoujście	T_{sr}	-0,2	0,2	2,8	6,6	11,4	15,3	17,4	17,2	13,9	9,5	4,6	1,4	8,4
	T_{max}	1,9	2,7	6,1	10,5	15,6	19,4	21,5	21,4	17,9	12,8	6,8	3,4	11,7
	T_{min}	-2,4	-2,3	0,0	3,4	7,7	11,5	13,7	13,6	10,6	6,8	2,5	-0,6	5,4
Szczecin	T_{sr}	-0,5	0,0	3,1	7,8	12,9	16,3	18,0	17,5	13,7	9,2	4,3	1,1	8,7
	T_{max}	1,9	3,0	7,3	13,0	18,5	21,6	23,3	22,9	18,7	13,2	6,8	3,3	12,7
	T_{min}	-3,2	-3,1	-0,5	3,0	7,5	11,0	13,1	12,6	9,5	5,7	1,8	-1,2	4,7
Toruń	T_{sr}	-2,3	-1,5	2,0	7,4	13,0	16,6	18,2	17,6	13,2	8,4	3,3	-0,4	8,0
	T_{max}	0,4	1,7	6,1	12,9	18,9	22,3	24,0	23,5	18,7	12,8	5,9	1,9	12,4
	T_{min}	-5,2	-4,8	-1,8	2,3	7,0	10,6	12,5	12,0	8,5	4,6	0,7	-2,9	3,7
Warszawa	T_{sr}	-2,7	-1,9	1,9	7,9	13,5	16,8	18,5	17,8	13,3	8,3	3,1	-0,7	8,0
	T_{max}	-0,1	1,2	5,9	13,0	18,9	22,2	23,9	23,3	18,5	12,7	5,8	1,6	12,3
	T_{min}	-5,5	-5,0	-1,8	3,1	8,0	11,4	13,1	12,5	8,7	4,4	0,5	-3,2	3,9
Włodawa	T_{sr}	-3,8	-2,9	1,0	7,7	13,4	16,7	18,3	17,5	13,0	7,9	2,5	-1,6	7,5
	T_{max}	-1,1	0,3	5,0	12,8	18,9	22,1	24,0	23,4	18,4	12,4	5,3	0,8	11,9
	T_{min}	-6,9	-6,2	-2,9	2,6	7,6	10,8	12,5	11,7	7,9	3,7	-0,2	-4,3	3,1
Wrocław	T_{sr}	-1,4	-0,4	3,2	8,3	13,4	16,7	18,3	17,7	13,8	9,1	4,0	0,4	8,6
	T_{max}	1,8	3,2	7,9	13,7	19,1	22,3	24,0	23,8	19,4	14,1	7,4	3,3	13,4
	T_{min}	-4,8	-4,1	-1,0	2,8	7,3	10,9	12,6	12,0	8,7	4,5	0,6	-2,8	3,9
Zakopane	T_{sr}	-4,4	-3,5	-0,3	4,8	10,0	13,0	14,6	14,2	10,4	6,2	1,2	-2,8	5,3
	T_{max}	0,0	1,1	4,6	9,9	15,1	18,2	19,9	19,7	15,9	11,7	5,4	1,3	10,3
	T_{min}	-8,6	-7,7	-4,5	0,4	5,0	7,9	9,6	9,2	5,8	1,8	-2,3	-6,5	0,9

* dane od lipca 1954 r./data from July 1954,
** dane od stycznia 1952 r./data from January 1952.

temperatura wahała się od $-8,4^{\circ}\text{C}$ w lutym na Kasprowym Wierchu do $18,5^{\circ}\text{C}$ w lipcu w Warszawie. W tab. 1 zamieszczono także średnie wartości temperatury maksymalnej i minimalnej powietrza w poszczególnych miesiącach. Jak można zauważyć, średnia miesięczna temperatura maksymalna przyjmowała najwyższe wartości głównie na stacjach w zachodniej części Polski (w Legnicy, Wrocławiu i Ślubicach – ponad 24°C), minimalna natomiast – wyłączając obszary górskie (Kasprowy Wierch, Śnieżkę, Zakopane) – we wschodniej Polsce (w Suwałkach, we Włodawie, w Rzeszowie i Lesku – poniżej $-6,0^{\circ}\text{C}$) i w Kotlinie Jeleniogórskiej.

Tendencje zmian średniej rocznej i sezonowych wartości temperatury powietrza

W przebiegu wieloletnim stwierdzono znaczący wzrost temperatury powietrza na wszystkich analizowanych stacjach w badanym okresie 56 lat (ryc. 1). Największy wzrost rocznej temperatury powietrza, i to zarówno w przypadku wartości średnich, jak i maksymalnych czy minimalnych, zaznaczył się w środkowej i zachodniej części kraju (ryc. 1). Wyniósł on w granicach $1,0$ – $2,0^{\circ}\text{C}/56$ lat (wartości istotne statystycznie na poziomie $0,05$; $p < 0,05$). Nieco większą wartość tendencji zmian stwierdzono tylko w Lesku w przypadku temperatury maksymalnej ($2,2^{\circ}\text{C}/56$ lat), ale wartość ta jest nieistotna statystycznie. Na większości stacji największy wzrost zaznaczył się w przypadku temperatury maksymalnej, i tylko w Helu, Kaliszu, Łodzi, na Śnieżce, w Toruniu, we Włodawie i w Zakopanem – w przypadku temperatury minimalnej. Jedynie w Poznaniu tendencja zmian wszystkich trzech charakterystyk temperatury (średniej, maksymalnej i minimalnej) była taka sama – $1,3^{\circ}\text{C}/56$ lat (ryc. 1).



Ryc. 1. Tendencje zmian średniej (T_{sr}), maksymalnej (T_{max}) i minimalnej (T_{min}) temperatury powietrza w roku w latach 1951–2006

Fig. 1. Trends of change in the average (T_{sr}), maximum (T_{max}) and minimum (T_{min}) annual air temperature during 1951–2006

Jeśli porównać tendencję zmian średniej, maksymalnej i minimalnej temperatury w poszczególnych porach roku na wszystkich stacjach, wyraźnie zaznacza się największy przyrost ich wartości wiosną (ryc. 2). Osiągnął on nawet $2,0\text{--}2,5^\circ\text{C}/56$ lat ($p < 0,05$), przy czym na większości stacji szybszy był wzrost temperatury maksymalnej niż minimalnej. Jedynie w Helu, w Kaliszu, Lesku, na Śnieżce i w Zakopanem szybciej wzrastała temperatura minimalna, a w Szczecinie wszystkie trzy charakterystyki temperatury powietrza wzrastały w tempie $1,9^\circ\text{C}/56$ lat ($p < 0,05$) (ryc. 2).

Latem tendencje zmian temperatury powietrza przyjmowały najwyższe wartości w zachodniej części kraju. Na pozostałym obszarze rzadko przekraczały $1,0^\circ\text{C}/56$ lat i w wielu przypadkach były nieistotne statystycznie.

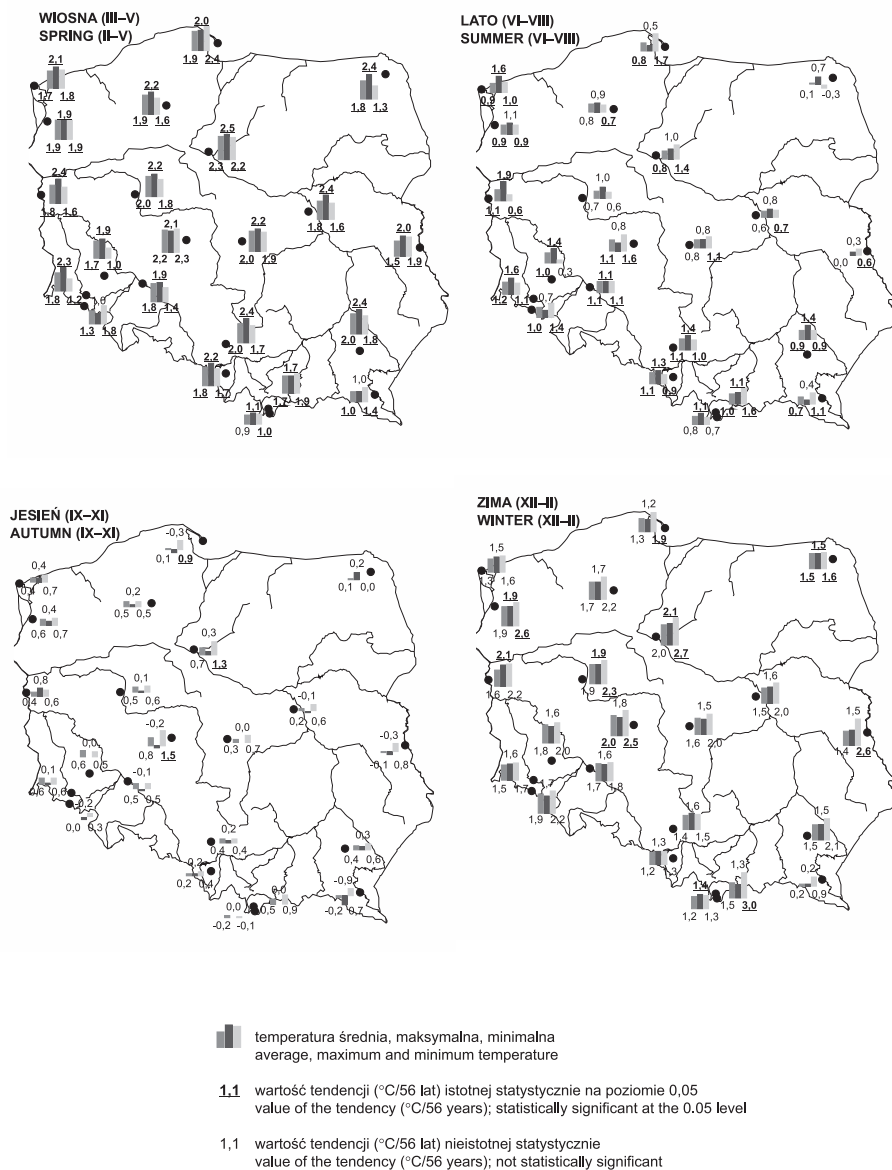
Najmniejsze zmiany temperatury powietrza występowały w miesiącach jesiennych (ryc. 2). Tendencje zmian w wielu przypadkach nie przekraczały $0,5^\circ\text{C}/56$ lat, a niekiedy przyjmowały nawet wartości ujemne, choć nieistotne statystycznie.

W wielu opracowaniach stwierdzano, że największy wzrost temperatury powietrza, i to zarówno średniej, maksymalnej i minimalnej, zaznaczył się w miesiącach zimowych. Na podstawie analizowanych danych nie można jednoznacznie stwierdzić, że na obszarze Polski zaszła znacząca zmiana temperatury w tej porze roku (ryc. 2). Stwierdzono bowiem, że tendencja zmian temperatury w zimie (grudzień–luty), choć dodatnia, w większości przypadków była nieistotna statystycznie na poziomie 0,05.

Na rycinie 3 przedstawiono wieloletni przebieg średniej (T_{sr}), maksymalnej (T_{max}) i minimalnej (T_{min}) temperatury powietrza w poszczególnych porach roku na dwóch stacjach reprezentujących: cieplejszą, zachodnią (Słubice) oraz chłodniejszą, północno-wschodnią (Suwałki) część Polski. W okresie zimowym na obu stacjach zaznaczyła się bardzo duża zmienność wszystkich trzech charakterystyk temperatury powietrza z roku na rok. W lecie i jesienią była ona natomiast najmniejsza, zwłaszcza w Suwałkach. Pomimo nieistotnej statystycznie tendencji zmian temperatury w jesieni, a w przypadku Suwałk również w lecie (ryc. 3), na obu stacjach można zauważyć stopniowy wzrost temperatury zarówno średniej, jak i maksymalnej i minimalnej, szczególnie dobrze widoczny od końca lat 90. (ryc. 3).

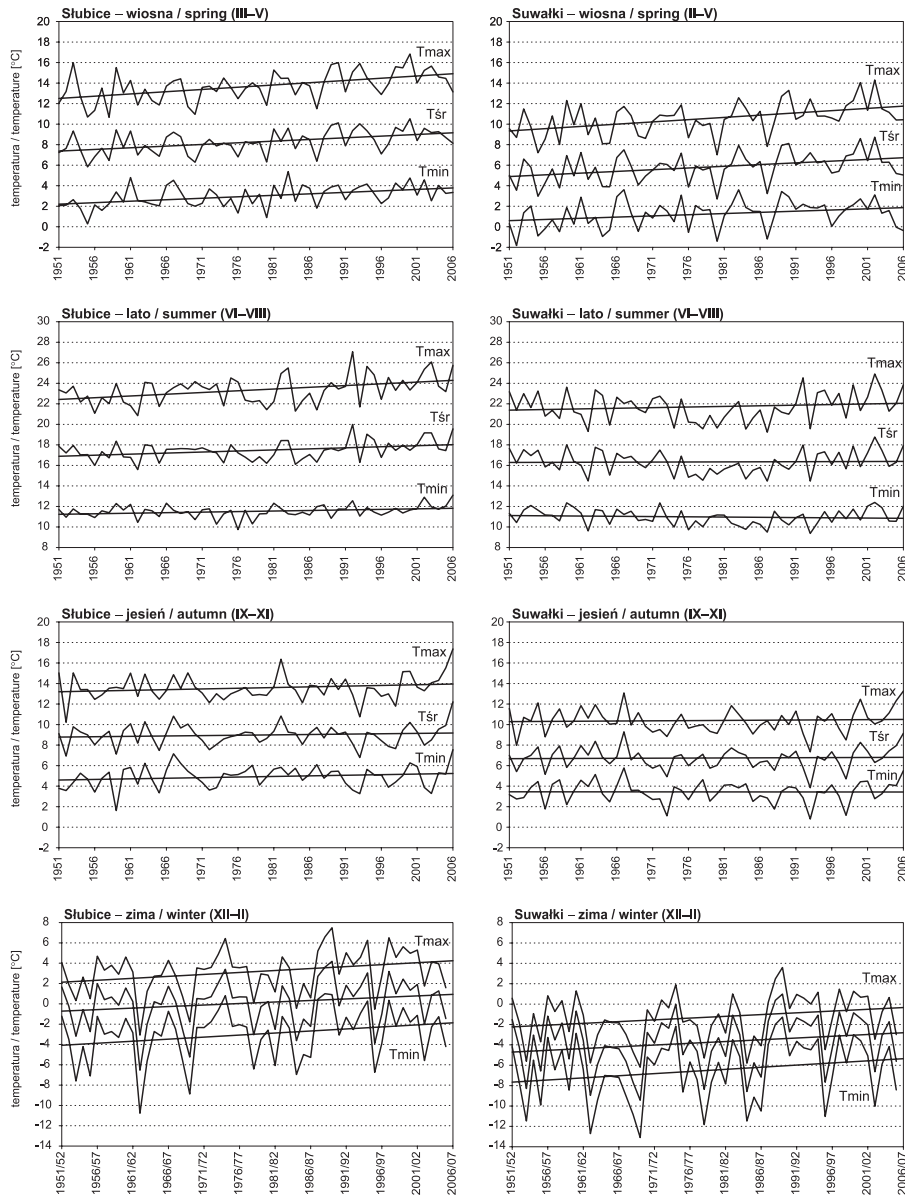
Przedstawione w niniejszym opracowaniu tendencje zmian rocznych i sezonowych wartości temperatury nawiązują do wyników badań innych autorów, chociaż obserwowany wzrost temperatury powietrza nie jest synchroniczny na całej kuli ziemskiej ani przestrzennie, ani sezonowo (Frich i in. 2002; Yan i in. 2002; Klein Tank, Können 2003; Beniston, Stephenson 2004; Moberg, Jones 2005; Alexander i in. 2006; Brohan i in. 2006). Powszechnie wiadomo, że występują strefowe i regionalne zróżnicowania tendencji zmian temperatury powietrza. Jedne regiony na świecie ogrzewają się bardziej niż inne, a w niektórych występuje nawet spadek temperatury (Frich i in. 2002; Klein Tank i in. 2002; Alexander i in. 2006; Moberg i in. 2006; IPCC 2007).

Różne kierunki i wielkości zmian temperatury powietrza szczególnie dobrze widoczne są, gdy określamy je w poszczególnych sezonach lub miesiącach. Za najbar-



Ryc. 2. Tendencje zmian średniej (T_{sr}), maksymalnej (T_{max}) i minimalnej (T_{min}) temperatury powietrza w poszczególnych porach roku w latach 1951–2006

Fig. 2. Trends of the seasonal change in the average (T_{sr}), maximum (T_{max}) and minimum (T_{min}) air temperature during 1951–2006



Ryc. 3. Przebieg średniej (T_{sr}), maksymalnej (T_{max}) i minimalnej (T_{min}) temperatury powietrza w poszczególnych porach roku na wybranych stacjach w latach 1951–2006
Fig. 3. The average (T_{sr}), maximum (T_{max}) and minimum (T_{min}) air temperature by season at selected weather stations during 1951–2006

dziej „wrażliwy” na zmiany klimatu uważa się sezon zimowy oraz najniższe wartości temperatury. W XX stuleciu właśnie w zimie wzrost temperatury był największy; w środkowej i wschodniej Europie osiągnął aż $0,35^{\circ}\text{C}/10$ lat (Brázdil i in. 1996; Jones i in. 2002; Wibig, Głowicki 2002), podczas gdy w północnej części kontynentu temperatura w zimie nieznacznie spadała. Również w lecie tendencje zmian temperatury były różne, chociaż warto zauważyć, że na większości stacji odnotowano jej spadek. Tylko w jesieni na kontynencie europejskim niemal wszędzie zaznaczał się wzrost temperatury powietrza (Schönwiese i in. 1994). Natomiast zdaniem Alexandera i in. (2006) wzrost temperatury jest zauważalny we wszystkich porach roku. W okresie od marca do maja zmiany są wyraźniejsze, od września zaś do listopada mniejsze. Należy także podkreślić, że zmiany temperatury minimalnej są większe niż maksymalnej.

Podobne wyniki uzyskali także autorzy badający zmiany temperatury w Polsce. Michalska (2011), analizując tendencje zmian średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza na 34 stacjach (1951–2005), wykazała, że w lutym, marcu, maju i sierpniu na wszystkich stacjach wystąpił wzrost temperatury i na większości z nich był istotny statystycznie. W styczniu oraz od września do grudnia zmiany były nieistotne statystycznie, a współczynnik kierunkowy regresji liniowej przyjmował na wszystkich stacjach dodatnie wartości (w styczniu) lub ujemne (w listopadzie i grudniu). Żmudzka (2009) podkreślała natomiast wyraźne ocieplenie występujące wiosną w latach 1951–2000, co koresponduje ze znaczącym wzrostem promieniowania całkowitego i usłonecznienia w tej porze roku. Analiza 100–letniej (1901–2000) serii temperatury powietrza uśrednionej obszarowo z terenu Polski nizinnej (poniżej 300 m n.p.m.) nie wykazała jednak znaczących zmian zimą (Żmudzka 2009).

Najniższe i najwyższe wartości temperatury powietrza

Zmiany średnich wartości temperatury powietrza w roku, sezonach i miesiącach dobrze oddają ogólną tendencję zmian temperatury rozpatrywanego obszaru. Dotyczy to zarówno średniej (T_{sr}), jak i maksymalnej (T_{max}) czy minimalnej (T_{min}) temperatury powietrza. Niestety wartości średnie nie odzwierciedlają zakresu wahań wartości analizowanego elementu ani częstości ich występowania (Kožuchowski 1990). Informacje te są bardzo ważne nie tylko z naukowego punktu widzenia, ale także ze względu na ich praktyczne zastosowanie w życiu codziennym i wielu rodzajach działalności gospodarczej.

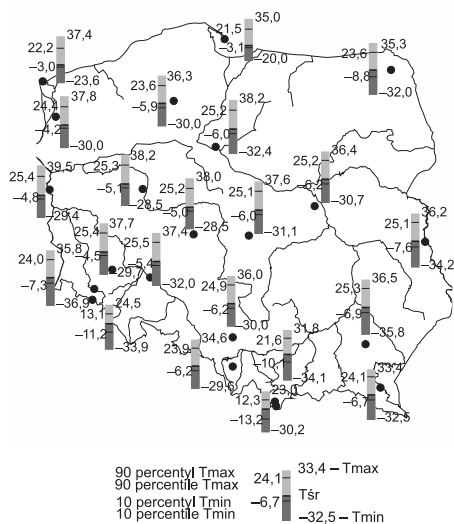
Z tego powodu poza wartościami średnimi do najważniejszych charakterystyk termicznych zalicza się występowanie ekstremalnych wartości temperatury. Należą do nich przede wszystkim wartości ekstremów absolutnych (absolutne minimum i maksimum), które wyznaczają zakres wahań temperatury na danym obszarze. Oblicza się ponadto częstość występowania wartości temperatury przekraczających

wartości progowe ustalone na podstawie charakterystyk probabilistycznych, miar dyspersji lub w sposób empiryczny.

Aby jak najlepiej przedstawić ekstremalne wartości temperatury występujące w Polsce, zdecydowano się zbadać zmiany wartości absolutnych, a także częstość występowania temperatury minimalnej nieprzekraczającej wartości 10 percentyla (T_{10p}) oraz maksymalnej wyższej od wartość 90 percentyla (T_{90p}). Wymienione wartości progowe są zgodne z zaleceniami IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) (IPCC 2001) i są powszechnie wykorzystywane w badaniach zmian klimatu. Czasami spotyka się ostrzejsze kryteria wydzielania ekstremów, np. progi 5%, 1% czy 0,1% wszystkich rozpatrywanych przypadków (Ustrnul, Czekierda 2009). Uznano jednak, że reprezentują one wartości zbyt skrajne i bardzo zbliżone do wartości absolutnych, a próg 10% najwyższych/najniższych wartości badanego elementu dobrze reprezentuje wyjątkowo wysoką/niską temperaturę.

W badanym wieloleciu (1956–2006) najniższą temperaturę powietrza $-36,9^{\circ}\text{C}$ zanotowano 10 lutego 1956 r. w Jeleniej Górze. Na 14 spośród pozostałych stacji ujętych w opracowaniu najniższa temperatura była niższa lub równa $-30,0^{\circ}\text{C}$, na 5 wahała się od $-28,5^{\circ}\text{C}$ do $-29,6^{\circ}\text{C}$, w Świnoujściu wynosiła zaledwie $-23,6^{\circ}\text{C}$, w Helu natomiast

jedynie $-20,0^{\circ}\text{C}$ i została zanotowana 1 lutego 1956 r. (tab. 2). Przestrzenny rozkład najniższej temperatury powietrza potwierdza silny wpływ kontynentu na temperaturę w sezonie zimowym i łagodzący wpływ Morza Bałtyckiego na wybrzeżu (ryc. 4). Na tym tle wyróżnia się najniższa z zanotowanych wartości temperatury ($-36,9^{\circ}\text{C}$), która wystąpiła na zachodzie kraju. Jest to związane z położeniem stacji w Kotlinie Jeleniogórskiej i silnym wpływem warunków lokalnych na kształtowanie się klimatu tego obszaru. Jak można również zauważyć, najniższe wartości temperatury zwykle występowały na kilku stacjach tego samego dnia lub w kilku następujących po sobie dniach. Najbardziej wyróżnił się okres od 31 stycznia do 11 lutego 1956 r. W tym czasie najniższa temperatura wystąpiła:



Ryc. 4. Minimalna i maksymalna temperatura dobowa na wybranych stacjach w latach 1951–2006

Fig. 4. The maximum and minimum daily temperature at selected stations during 1951–2006

Tabela 2. Najwyższe i najniższe wartości temperatury w Polsce w latach 1951–2006

Table 2. The highest and lowest temperatures in Poland during 1951–2006

Stacja Station	Temperatura [°C]/Temperature [°C]								zakres/ range
	minimalna/minimum				maksymalna/maximum				
	najniższa/ lowest	data/ date	percentyl/percentile				najwyższa/ highest	data/ date	
			5	10	90	95			
Bielsko–Biała	−29,6	09.02.1956	−9,7	−6,2	23,9	25,9	34,6	15.08.1952 05.07.1957	64,2
Chojnice	−30,0	01.02.1956	−9,5	−5,9	23,6	25,9	36,3	10.08.1992	66,3
Hel	−20,0	01.02.1956	−5,5	−3,1	21,8	23,7	35,0	10.07.1959	55,0
Jelenia Góra	−36,9	10.02.1956	−11,9	−7,3	24,0	26,1	35,8	01.08.1994	72,7
Kalisz	−28,5	14.01.1987	−8,6	−5,0	25,2	27,4	38,0	10.08.1992	66,5
Kasprowy Wierch	−30,2	17.01.1963	−15,8	−13,2	12,3	14,2	23,0	05.07.1957	53,2
Katowice	−30,0	09.02.1956	−9,7	−6,2	24,9	26,9	36,0	29.08.1992	66,0
Legnica	−29,7	11.02.1965	−8,1	−4,5	25,4	27,5	37,7	01.08.1994	67,4
Lesko *	−32,5	28.02.1963	−10,6	−6,7	24,1	26,1	33,4	05.08.1963	65,9
Łódź	−31,1	17.01.1963	−9,7	−6,0	25,1	27,1	37,6	01.08.1994	68,7
Poznań	−28,5	14.01.1987	−8,6	−5,1	25,3	27,5	38,2	11.07.1959	66,7
Rzeszów**	−35,8	28.02.1963	−11,5	−6,9	25,3	27,2	36,5	15.08.1952	72,3
Stubice	−29,4	09.02.1956	−8,4	−4,8	25,4	27,7	39,5	30.07.1994	68,9
Suwałki	−32,0	31.01.– 01.02.1956	−13,5	−8,8	23,6	25,8	35,3	13.07.1959	67,3
Szczecin	−30,0	14.01.1987	−7,4	−4,2	24,4	26,6	37,8	01.08.1994	67,8
Śnieżka	−33,9	09.02.1956	−13,6	−11,2	13,1	15,3	24,5	29.07.2005	58,4
Świnoujście	−23,6	01.02.1956	−5,7	−3,0	22,2	24,4	37,4	01.08.1994	61,0
Toruń	−32,4	19.01.1963	−10,0	−6,0	25,2	27,5	38,2	11.07.1959	70,6
Warszawa	−30,7	08.01. 1987	−10,1	−6,2	25,2	27,2	36,4	01.08.1994	67,1
Włodawa	−34,2	08.01.1987	−11,9	−7,6	25,1	27,2	36,2	15.08.1952 13.07.1959	70,4
Wrocław	−32,0	11.02.1965	−8,9	−5,4	25,5	27,5	37,4	01.08.1994	69,4
Zakopane	−34,1	01.02.1956	−13,4	−10,1	21,6	23,6	31,8	05.07.1957 21.08.2000	65,9

* dane od lipca 1954 r. / data from July 1954,

** dane od stycznia 1952 r. / data from January 1952.

- 31 stycznia i 1 lutego na 4 stacjach północnej Polski – w Helu, Suwałkach, Świnoujściu i Chojnicach – oraz w Zakopanem,
- 9–11 lutego na 7 stacjach w pasie od Legnicy do Bielska-Białej.

Kolejnymi okresami bardzo niskiej temperatury były dni od 8 do 14 stycznia 1987 r., kiedy najniższą temperaturę w wieloleciu zanotowano na 5 stacjach (w Szczecinie, Poznaniu, Kaliszu, Warszawie i we Włodawie) oraz 17–19 stycznia i 28 lutego 1963 r. – na pozostałych 5 stacjach (w Lesku, Łodzi, Rzeszowie, Toruniu i na Kasprowym Wierchu; tab. 2). Tak niskiej temperaturze przeważnie towarzyszyły silne układy wysokiego ciśnienia oraz adwekcja powietrza polarnego kontynentalnego lub arktycznego ze wschodu i północy (Niedźwiedź 2009). Szczegółowa analiza tych i innych przypadków wystąpienia wyjątkowo niskiej temperatury w Polsce została przedstawiona w opracowaniu Ustrnula i Czekierdy (2009).

Równie interesujące jest wystąpienie temperatury najwyższej. W rozpatrywanym wieloleciu wynosiła ona od 31,8°C w Zakopanem (5 lipca 1957 i 21 sierpnia 2000) do 39,5°C w Słubicach (30 lipca 1994). Wyjątek stanowiły obie stacje górskie – Śnieżka i Kasprowy Wierch, gdzie zanotowano odpowiednio 24,5°C (29 lipca 2005) i 23,0°C (5 lipca 1957) (tab. 2). W przeciwieństwie do najniższej temperatury, którą notowano przede wszystkim na początku badanego wielolecia, m.in. w tzw. zimach stulecia (1955/1956 i 1962/1963), temperatura najwyższa występowała przeważnie po 1990 r. (13 z 25 przypadków). Wyjątkowy był 1994 r. Od 30 lipca do 1 sierpnia najwyższą temperaturę zanotowano na 8 stacjach w zachodniej i środkowej Polsce. Związane to było z rozległym układem wysokiego ciśnienia, obejmującym znaczną część Europy, któremu towarzyszyły masy powietrza polarnego kontynentalnego. Dni te były poprzedzone ponadmiesięcznym okresem z dominacją układów antycyklonalnych, adwekcją powietrza z kierunków wschodnich i południowych oraz masami powietrza polarnego kontynentalnego, a nawet zwrotnikowego (Niedźwiedź 2009; Ustrnul, Czekierda 2009). Bardzo wysoką temperaturę (36,0–38,0°C) zanotowano również 1 i 29 sierpnia 1992 r. w Chojnicach, Kaliszu i Katowicach. Towarzyszyła ona adwekcji powietrza z południa i zachodu oraz zwrotnikowym masom powietrza. Podobne sytuacje wystąpiły 21 sierpnia 2000 r., 29 lipca 2005 r. oraz na początku badanego wielolecia – 15 sierpnia 1952 r., 5 lipca 1957 i 5 sierpnia 1963 r. W tych dniach najwyższą temperaturę zanotowano na stacjach południowej Polski. W okresie 10–13 lipca 1959 r. podczas zalegania układu wysokiego ciśnienia, w masie powietrza polarnego kontynentalnego, najwyższą temperaturę zanotowano w Helu, Suwałkach, Toruniu, Poznaniu i we Włodawie (Niedźwiedź 2009).

Opisane wartości reprezentują skrajne warunki termiczne występujące w obszarach reprezentowanych przez poszczególne stacje. Najniższe/najwyższe wartości temperatury powietrza niewiele różnią się od notowanych w Polsce wartości absolutnych (40,2°C 29 lipca 1921 r. w Prószkowie k. Opola, i –41,0°C 11 stycznia 1940 r. w Siedlcach). W rezultacie wieloletni zakres zmian temperatury na uwzględnionych

stacjach wahał się od 53,2°C na Kasprowym Wierchu do 72,7°C w Jeleniej Górze (tab. 2, ryc. 4). Tak niskie/wysokie wartości występują jednak bardzo rzadko, choć jak już się pojawiają, to w kilku kolejnych dniach. Z tego powodu tak ekstremalne przypadki zdarzają się zaledwie od kilku do kilkunastu razy w ciągu stulecia (Cebulak, Limanówka 2007). Potwierdzają to wartości 10/90 percentyla (T_{10p}/T_{90p}) wartości dobowej temperatury minimalnej/maksymalnej. W obu przypadkach wyznaczone wartości są już znacznie wyższe/nizsze od wartości skrajnych, a różnice są większe w przypadku temperatury minimalnej (około 17–30°C) niż maksymalnej (około 7–13°C). Oznacza to, że na rozpatrywanych stacjach 10% wartości minimalnej temperatury jest niższe od –3°C do –9°C (na stacjach górskich od –10°C), a 10% wartości maksymalnej temperatury jest wyższe od około 25°C (na stacjach górskich 12–13°C) (tab. 2, ryc. 4). Jeżeli przyjmiemy nieco ostrzejsze kryterium (5% badanych przypadków), to wartości te nie różnią się znacząco.

Najniższe wartości T_{\min} (T_{10p}) i najwyższe T_{\max} (T_{90p}) w poszczególnych miesiącach zostały przedstawione w tabeli 3 i 4. Najniższe temperatury minimalne występowały od grudnia do marca i wahały się od –29,8 – –36,9°C do –15,2 – –20,0°C. W okresach kwiecień–maj i październik–listopad było to odpowiednio od –13,1 – –24,8°C do –1,7 – –9,2°C, a od czerwca do września od –7,6 – –3,1°C do 2,6 – 7,0°C. We wszystkich miesiącach najwyższa temperatura minimalna bywała wyższa od 2,6°C, a w lecie zwykle przekraczała 20°C. Najwyższe wartości maksymalnej temperatury nawet w półroczu chłodnym (październik–marzec) były wyższe od zera i zwykle przekraczały 10°C (tab. 4). Mimo że w zimie wartości T_{90p} były niższe od 20°C, to w październiku na 4 stacjach zanotowano nawet powyżej 28°C (w Słubicach 28,6°C). W cieplej połowie roku, poza stacjami górskimi, najwyższa temperatura zwykle przekraczała 30°C, a w lecie nawet 35°C. Najniższe wartości maksymalnej temperatury dobowej w półroczu chłodnym zwykle były niższe od –10°C, a w zimie nawet –20°C. Od maja do września natomiast, poza stacjami górskimi, zawsze osiągały wartości dodatnie.

Wieloletnie zmiany wartości najwyższej T_{\max} i najniższej T_{\min} były zróżnicowane przestrzennie. Znacznie większe były w przypadku najniższej temperatury minimalnej. Średnio zmiany te wynosiły około 20–22°C i wahały się od 15,0°C w Helu do 28,2°C w Jeleniej Górze. Mniejszy zakres zmian był związany z bardziej oceanicznym typem klimatu w północno–zachodniej Polsce oraz warunkami termicznymi panującymi w wysokich partiach gór (na Kasprowym Wierchu zakres zmian wyniósł 14,3°C). Wieloletnie zmiany najwyższej zanotowanej w danym roku temperatury były około dwa razy mniejsze. Średnio wynosiły one 8–9°C i wahały się od 6,0°C w Lesku do 11,1 w Świnoujściu.

Rozpatrywane zmiany na poszczególnych stacjach wykazały dość duże podobieństwo. W przypadku najniższych z zanotowanych wartości T_{\min} wyróżniają się stacje na północy kraju: Hel, Suwałki, Świnoujście i Szczecin, na których opisywane zmiany ogólnie nie wykazywały istotnej statystycznie korelacji ze zmianami na innych

Tabela 3. Minimalna temperatura dobowa [°C] w latach 1951–2006
Table 3. The minimum daily temperature [°C] during 1951–2006

Para- metr/ Para- meter	Bielsko-Biala	Chojnice	Hel	Jelenia Góra	Kalisz	Kasprowy W.	Katowice	Legnica	Lesko*	Lódź	Poznań	Rzeszów**	Stubice	Suwałki	Szczecin	Śnieżka	Świnoujście	Toruń	Warszawa	Włodawa	Wrocław	Zakopane
Styczeń / January																						
T_{top}	-14,0	-13,5	-8,0	-17,3	-12,9	-18,1	-13,9	-13,2	-14,8	-14,1	-12,8	-16,6	-12,6	-17,8	-11,6	-15,8	-9,0	-14,8	-14,3	-16,9	-13,8	-16,5
T_N	-27,4	-26,9	-19,1	-31,8	-28,5	-30,2	-27,4	-27,8	-28,8	-31,1	-28,5	-33,6	-28,9	-32,0	-30,0	-32,1	-21,6	-32,4	-30,7	-34,2	-30,0	-29,8
Luty / February																						
T_{top}	-13,3	-12,8	-8,1	-16,6	-11,9	-18,1	-13,1	-12,1	-14,3	-13,5	-12,5	-16,3	-12,1	-17,7	-11,1	-15,5	-8,6	-14,2	-14,0	-16,1	-12,8	-16,6
T_N	-29,6	-30,0	-20,0	-36,9	-28,3	-29,1	-30,0	-29,7	-32,5	-27,4	-28,0	-35,8	-29,4	-32,0	-28,7	-33,9	-23,6	-29,3	-27,6	-30,4	-32,0	-34,1
Marzec / March																						
T_{top}	-7,5	-8,0	-5,0	-8,8	-6,2	-16,0	-7,7	-5,4	-8,0	-7,6	-6,6	-8,6	-6,3	-12,7	-6,1	-13,5	-4,4	-8,3	-8,0	-10,2	-6,5	-12,1
T_N	-20,7	-21,2	-17,0	-29,6	-21,1	-27,9	-20,8	-21,4	-25,2	-21,7	-21,4	-30,9	-25,3	-29,7	-23,1	-25,5	-16,8	-26,5	-22,6	-23,2	-23,8	-23,8
Kwiecień / April																						
T_{top}	-1,9	-2,2	-1,6	-4,0	-1,0	-11,5	-2,1	-1,1	-2,2	-1,7	-2,1	-2,3	-2,6	-2,9	-1,6	-9,2	-0,4	-2,9	-1,7	-2,2	-2,0	-4,5
T_N	-8,5	-7,6	-9,0	-14,5	-7,2	-18,1	-8,2	-7,6	-8,3	-8,0	-8,6	-10,0	-8,6	-10,0	-7,7	-15,5	-5,2	-8,6	-6,9	-7,4	-8,1	-12,0
Maj / May																						
T_{top}	2,7	1,9	2,3	0,0	3,2	-5,6	2,5	2,9	2,1	2,7	2,5	2,2	1,9	1,4	2,8	-4,1	4,0	1,3	3,1	2,5	2,6	0,3
T_N	-3,1	-3,5	-5,1	-5,5	-3,8	-13,0	-3,4	-2,1	-4,0	-3,0	-3,0	-4,6	-4,8	-4,3	-4,4	-13,1	-1,7	-4,5	-3,1	-3,3	-4,0	-6,1
Czerwiec / June																						
T_{top}	6,8	6,0	6,8	4,0	7,3	-1,9	6,4	7,1	6,0	6,6	6,8	6,3	6,3	5,6	7,0	-0,4	8,0	6,1	7,4	6,6	6,8	4,1
T_N	-0,2	0,1	-0,1	-2,1	2,4	-7,6	-0,3	0,5	-0,5	-0,3	0,5	-0,9	-0,8	-0,9	0,3	-7,1	2,8	-1,4	1,8	-0,7	0,2	-1,6

Para- metr/ Para- meter	Bielsko-Biala	Chojnice	Hel	Jelenia Góra	Kalisz	Kasprowy W.	Katowice	Legnica	Lesko *	Łódź	Poznań	Rzeszów **	Stubice	Suwałki	Szczecin	Śnieżka	Świnoujście	Toruń	Warszawa	Wrocław	Zakopane	
Lipiec / July																						
T _{10p}	8,8	8,3	10,4	6,2	9,4	0,3	8,7	9,2	8,4	8,7	9,0	8,5	8,5	8,0	9,7	1,8	10,4	8,7	9,3	8,6	9,0	6,0
T _N	4,3	3,7	5,4	0,0	4,0	-3,1	4,8	3,4	4,4	4,2	3,8	3,7	2,6	3,2	4,4	-2,2	7,0	3,1	4,6	4,6	3,6	0,9
Sierpień / August																						
T _{10p}	8,4	7,9	10,7	5,0	9,0	0,3	8,0	8,6	7,4	8,3	8,3	7,5	7,2	7,4	8,9	1,8	10,2	7,7	8,6	7,9	8,0	5,5
T _N	2,6	4,0	5,3	0,3	4,8	-4,5	3,1	3,4	1,9	3,3	3,2	0,9	1,4	0,9	1,2	-2,6	6,4	1,4	3,0	1,7	2,1	0,2
Wrzesień / September																						
T _{10p}	4,5	4,3	7,0	1,3	4,6	-3,5	3,7	4,4	3,5	4,0	4,1	3,3	3,0	2,6	4,9	-1,5	6,9	3,3	3,8	2,8	3,6	1,3
T _N	-2,4	-0,8	-2,3	-5,6	-1,7	-8,2	-3,4	-3,2	-3,0	-1,9	-1,7	-5,3	-3,8	-4,3	-2,6	-5,8	2,6	-3,7	-1,6	-3,4	-3,0	-4,9
Październik / October																						
T _{10p}	-0,4	-0,3	2,8	-3,1	-0,4	-8,1	-1,1	-0,8	-1,3	-0,8	-0,5	-1,8	-1,5	-1,8	0,3	-5,7	2,4	-1,4	-1,2	-2,0	-1,2	-3,4
T _N	-8,6	-8,6	-3,0	-8,7	-7,4	-15,2	-8,0	-6,1	-10,5	-9,2	-8,3	-11,4	-9,1	-14,2	-6,5	-14,7	-4,9	-10,1	-9,6	-9,0	-9,3	-10,7
Listopad / November																						
T _{10p}	-5,3	-4,7	-1,2	-7,0	-4,2	-12,9	-5,3	-4,0	-5,7	-4,7	-4,3	-5,7	-4,2	-6,8	-3,2	-10,6	-1,9	-4,9	-5,1	-6,2	-4,8	-8,8
T _N	-19,8	-16,4	-9,2	-22,1	-16,6	-24,8	-16,3	-16,8	-17,4	-16,8	-15,2	-21,0	-15,2	-20,7	-11,4	-20,3	-10,3	-22,8	-17,0	-19,9	-18,2	-19,6
Grudzień / December																						
T _{10p}	-10,7	-9,9	-5,2	-13,9	-9,4	-15,6	-10,7	-9,2	-11,4	-10,5	-9,5	-11,9	-9,1	-13,7	-7,8	-13,6	-6,3	-10,3	-10,7	-12,7	-10,1	-14,4
T _N	-26,0	-21,9	-15,2	-29,5	-25,1	-28,0	-24,4	-24,7	-29,3	-24,6	-24,9	-29,8	-24,3	-29,6	-22,3	-24,9	-17,5	-24,5	-24,8	-26,3	-24,4	-25,5

* dane od lipca 1954 r./data from July 1954, ** dane od stycznia 1952 r./data from January 1952,
T_N – najniższa dobowa temperatura minimalna/the lowest daily minimum temperature,
T_{10p} – wartość 10 percentyla dobowej temperatury minimalnej/value of the 10th percentile of daily minimum temperature.

Tabela 4. Maksymalna temperatura dobowa [°C] w latach 1951–2006
Table 4. The maximum daily temperature [°C] during 1951–2006

Para- metr/ Para- meter	Bielsko-Biala	Chojnice	Heil	Jelenia Góra	Kalisz	Kasprowy W.	Katowice	Legnica	Lesko*	Lódź	Poznań	Rzeszów**	Stubice	Suwałki	Szczecin	Śnieżka	Świnoujście	Toruń	Warszawa	Włodawa	Wrocław	Zakopane
Styczeń / January																						
T_N	15,0	12,0	10,4	17,0	13,8	7,2	14,7	16,8	13,5	12,8	13,4	12,7	15,2	9,5	14,8	10,5	13,8	12,8	13,8	11,7	15,3	14,9
T_{50p}	7,9	4,9	5,6	8,0	6,6	0,6	6,8	8,4	6,5	5,8	6,7	6,0	8,4	3,2	7,6	2,1	7,1	6,3	5,8	4,9	7,9	6,7
Luty / February																						
T_N	18,5	15,5	12,9	19,5	17,1	7,8	18,8	19,7	17,0	17,5	17,6	16,6	19,0	14,8	17,9	10,1	17,1	17,1	17,2	16,3	19,7	16,4
T_{50p}	9,8	6,3	5,8	10,2	8,6	0,3	9,4	10,5	8,8	8,0	8,8	8,2	10,4	4,2	9,1	2,3	8,4	7,9	7,4	6,5	10,2	8,2
Marzec / March																						
T_N	22,8	21,1	20,5	24,4	22,7	9,4	22,8	24,8	24,5	23,8	24,0	23,8	24,6	20,4	23,9	12,1	24,2	23,4	22,9	22,3	25,2	20,3
T_{50p}	14,4	11,4	9,3	14,9	14,0	2,2	14,9	15,1	14,4	13,7	13,9	14,5	15,1	9,5	13,7	4,1	12,2	13,2	13,3	12,7	15,4	11,8
Kwiecień / April																						
T_N	28,0	28,9	26,2	28,8	29,0	14,2	28,1	29,4	28,0	28,2	29,9	28,3	30,9	27,2	30,6	18,2	29,0	29,9	28,2	27,4	29,5	24,3
T_{50p}	19,5	18,5	15,3	19,4	20,1	5,5	20,7	20,4	19,8	20,2	20,2	20,8	20,7	18,5	19,5	8,0	17,0	20,0	20,4	20,1	20,7	16,8
Maj / May																						
T_N	30,7	30,5	28,0	31,1	31,4	18,7	32,2	31,4	29,8	32,7	31,8	33,0	32,6	30,9	32,0	20,4	32,7	32,3	32,8	32,1	32,4	27,3
T_{50p}	23,8	24,1	20,8	23,8	25,0	11,0	25,0	25,0	24,4	25,0	25,4	25,2	25,5	24,2	24,6	12,9	22,0	25,6	25,2	25,2	25,2	21,5
Czerwiec / June																						
T_N	33,7	35,0	31,2	33,5	34,4	20,5	34,6	35,3	31,9	35,4	36,5	33,2	36,7	32,8	35,6	22,2	35,3	35,5	35,1	33,9	34,5	29,5
T_{50p}	26,2	26,5	23,8	26,4	27,7	14,6	27,3	27,6	26,5	27,5	28,2	27,6	28,1	26,3	27,1	15,6	25,0	28,0	27,6	27,6	28,0	24,0

Para- metr/ Para- meter	Bielsko-Biala	Chojnice	Hel	Jelenia Góra	Kalisz	Kasprowy W.	Katowice	Legnica	Lesko*	Łódź	Poznań	Rzeszów**	Stalowa	Suwałki	Szczecin	Śnieżka	Świnoujście	Toruń	Warszawa	Włodawa	Wrocław	Zakopane
Lipiec / July																						
T_n	34,6	36,1	35,0	35,4	36,9	23,0	35,7	37,3	33,2	37,3	38,2	35,6	39,5	35,3	37,3	24,5	36,1	38,2	35,9	36,2	37,1	31,8
T_{90p}	27,6	28,2	25,8	28,1	29,7	16,3	28,8	30,0	27,9	29,5	30,0	29,3	30,1	27,8	29,1	17,4	26,3	29,8	29,4	29,4	29,7	25,4
Sierpień / August																						
T_n	34,6	36,3	31,8	35,8	38,0	22,5	36,0	37,7	33,4	37,6	37,0	36,5	38,7	34,8	37,8	23,5	37,4	37,5	36,4	36,2	37,4	31,8
T_{90p}	27,7	27,4	25,2	28,0	29,5	16,1	28,5	29,5	27,5	28,7	29,2	28,8	29,3	27,3	28,2	17,1	26,1	29,0	28,5	28,6	29,4	25,3
Wrzesień / September																						
T_n	31,0	32,3	27,3	34,0	32,7	19,8	30,4	34,6	29,4	31,8	34,6	30,0	31,7	29,8	30,8	21,1	30,4	32,4	31,4	31,7	31,8	27,4
T_{90p}	24,0	22,8	21,3	24,3	25,1	12,6	24,7	25,4	24,1	24,9	24,8	25,0	25,3	22,7	23,9	13,6	22,6	24,6	24,5	25,0	25,4	21,8
Październik / October																						
T_n	26,4	25,9	23,2	27,7	27,2	16,8	26,6	28,2	26,8	25,9	27,9	25,6	28,6	24,0	26,7	18,1	25,2	28,2	25,9	27,1	28,1	26,3
T_{90p}	20,1	17,0	16,0	20,1	19,8	9,9	20,3	20,5	20,0	19,6	19,2	20,0	19,8	16,4	18,4	11,0	17,2	18,9	18,9	19,1	20,5	18,5
Listopad / November																						
T_n	21,1	16,4	15,9	19,9	19,2	13,3	20,9	20,6	21,6	19,2	19,9	20,0	20,6	15,7	19,4	14,6	18,8	19,9	18,9	19,3	20,6	19,5
T_{90p}	14,4	9,7	10,3	13,2	12,3	4,8	13,4	13,6	14,0	11,9	11,6	13,2	12,8	8,8	11,8	6,4	11,2	11,1	11,5	11,5	13,6	12,9
Grudzień / December																						
T_n	18,3	12,4	11,7	16,3	15,8	8,8	18,2	18,1	15,6	14,9	15,0	16,5	15,8	11,4	14,9	12,0	14,5	15,6	15,4	14,9	16,4	18,4
T_{90p}	9,7	6,5	7,2	9,2	8,0	1,9	8,2	9,7	8,1	7,3	8,2	7,4	9,4	5,0	8,7	3,6	8,3	7,4	7,2	6,3	9,2	8,2

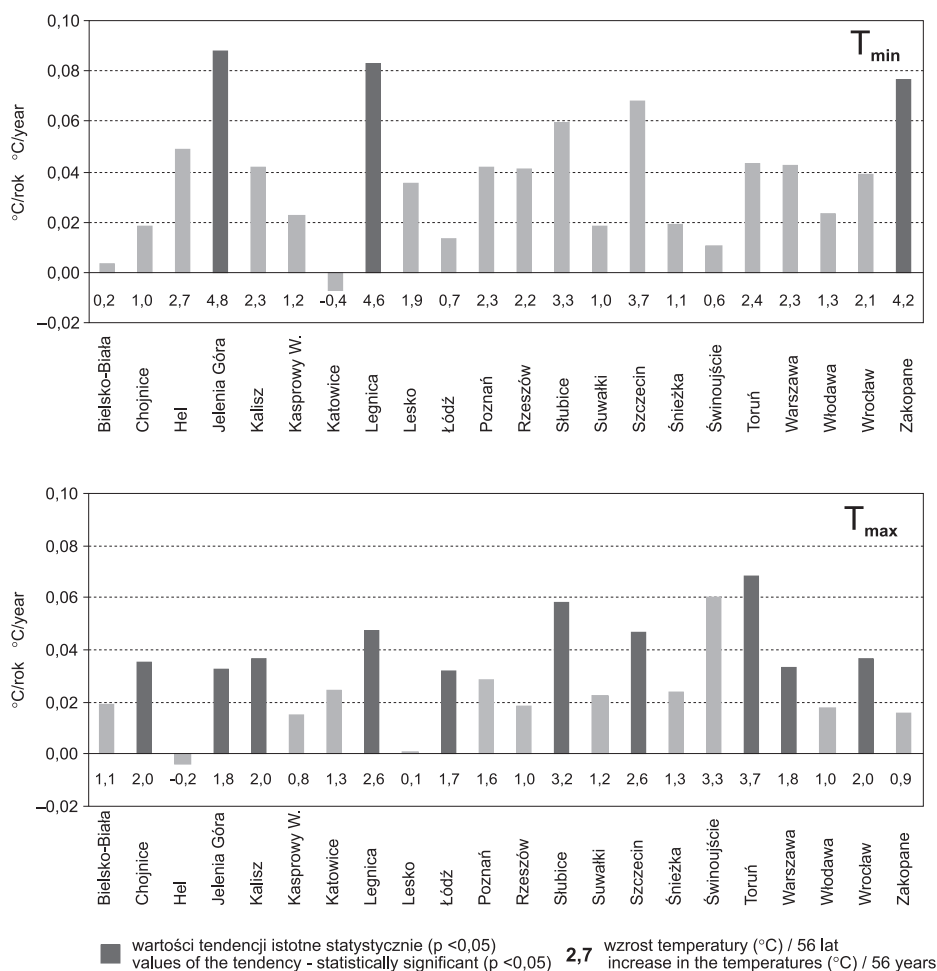
* dane od lipca 1954 r./data from July 1954, ** dane od stycznia 1952 r./data from January 1952,
 T_n – najwyższa dobową temperatura maksymalna/the highest daily maximum temperature,
 T_{90p} – wartość 90 percentyla dobowej temperatury maksymalnej/value of the 90th percentile of daily maximum temperature.

stacjach (na poziomie istotności $p < 0,05$). Wśród innych stacji brak istotnych podobieństw rozpatrywanych zmian zauważa się również w Chojnicach, Toruniu i Słubicach, ale dotyczą one pojedynczych przypadków (1–8 innych stacji). W pozostałych przypadkach współczynniki korelacji są dodatnie i istotne statystycznie ($p < 0,05$), a na stacjach położonych na południu Polski osiągają nawet 0,8–0,9. Jeszcze większe podobieństwo zaznacza się w wieloletnich zmianach najwyższych wartości T_{\max} . Jediną stacją odróżniającą się od wszystkich pozostałych jest Hel. Znaczne różnice widoczne są także między wieloletnimi zmianami najwyższej maksymalnej temperatury w Suwałkach oraz w Świnoujściu, Szczecinie, Chojnicach, Słubicach, Wrocławiu i Kaliszu. Poza czterema innymi przypadkami rozpatrywana temperatura zmieniała się w podobny sposób, a współczynniki korelacji obliczone dla stacji leżących na południe od linii Słubice – Warszawa zwykle przekraczają 0,7 i najczęściej wahają się od 0,8 do 0,9 ($p < 0,05$). Przedstawione wyniki sugerują, że wyjątkowo niskie/wysokie wartości temperatury minimalnej/maksymalnej są kształtowane przez sytuacje synoptyczne obejmujące swoim zasięgiem większy obszar kraju. Przykładem może być adwekcja bardzo chłodnych lub gorących mas powietrza (np. arktycznego czy zwrotnikowego) albo też rozbudowanie się silnego i trwałego układu wyżowego. Większe różnice między stacjami występujące w przypadku najniższej temperatury minimalnej są wynikiem większego wpływu warunków lokalnych. Wyraźnie wyróżniają się także stacje znajdujące się pod silnym wpływem Bałtyku, oraz Suwałki – obszaru o nieco odmiennych warunkach cyrkulacyjnych.

Niezależnie od położenia rozpatrywanych stacji (z wyjątkiem Helu i Katowic) zauważa się słaby wzrost najniższych i najwyższych wartości temperatury (ryc. 5, 6), chociaż w większości przypadków są to wartości nieistotne statystycznie. Najniższa temperatura w istotny sposób wzrosła jedynie w Jeleniej Górze, Legnicy i Zakopanem (odpowiednio o 4,8, 4,6 i 4,2°C/56 lat; $p < 0,05$). Najwyższa natomiast temperatura wzrosła znacząco na 10 stacjach położonych głównie na zachodzie i w centrum kraju (ryc. 5 i 6). W badanym wieloleciu wzrost ten wyniósł od 1,8 do 3,7°C/56 lat ($p < 0,05$).

Badając analogiczne zmiany temperatury w poszczególnych miesiącach, stwierdzono, że dominują bardzo niewielkie i zwykle nieistotne statystycznie wzrosty. Znaczące zmiany najniższej temperatury wystąpiły na większej liczbie stacji przede wszystkim w maju, lipcu i we wrześniu (odpowiednio na 15, 9 i 9 stacjach), w okresie zaś od października do stycznia tylko na jednej stacji (w styczniu w Zakopanem) (tab. 5). Należy również zwrócić uwagę, że tendencje ujemne w kwietniu oraz od października do grudnia (na 10–17 stacjach w miesiącu) są nieistotne statystycznie.

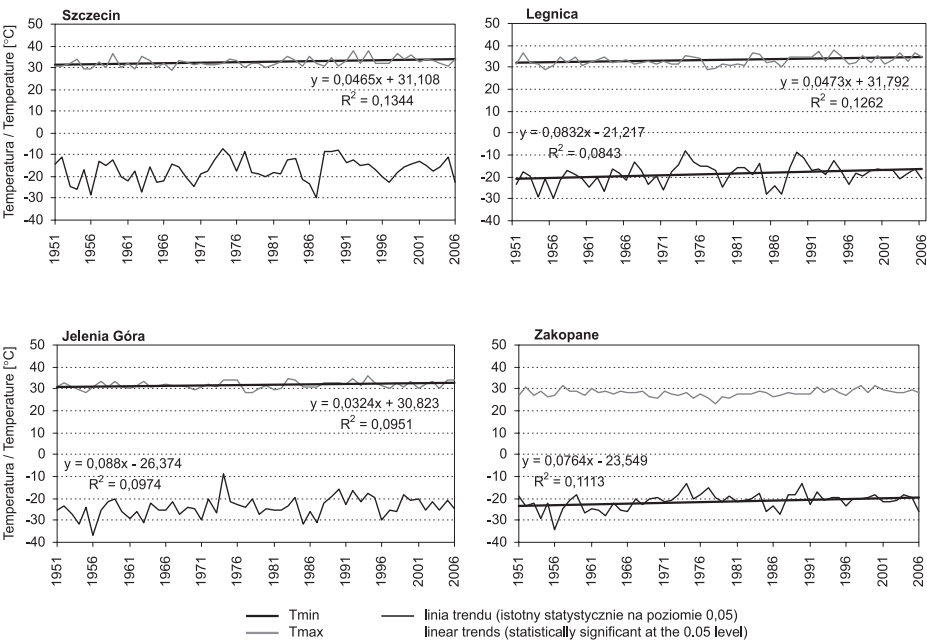
Na poszczególnych stacjach istotne statystycznie tendencje zmian temperatury występowały zwykle w 1–3 miesiącach. Na tym tle wyróżniają się stacje: Hel (w 8 miesiącach; od lutego do września), Zakopane (w 8 miesiącach; styczeń – marzec i maj–wrzesień), Wrocław (w 6 miesiącach; w marcu i maj–listopad) oraz Kalisz



Ryc. 5. Tendencje zmian najniższej temperatury minimalnej (T_{min}) i najwyższej temperatury maksymalnej (T_{max}) ($^{\circ}C$) w latach 1951–2006

Fig. 5. Trends of change in lowest minimum temperature (T_{min}) and the highest maximum temperature (T_{max}) ($^{\circ}C$) during 1951–2006

i Jelenia Góra (w 5 miesiącach; od maja do września). W przypadku najwyższej temperatury istotne zmiany wystąpiły głównie w styczniu i lutym (wzrost) oraz we wrześniu (spadek) (tab. 5). W pozostałych miesiącach dominowały dodatnie tendencje zmian T_{max} , ale były one nieistotne statystycznie na poziomie 0,05.



Ryc. 6. Wieloletnie zmiany najniższej minimalnej (T_{\min}) i najwyższej maksymalnej (T_{\max}) temperatury na wybranych stacjach w latach 1951–2006

Fig. 6. The Long-term variability in the lowest minimum (T_{\min}) and highest maximum (T_{\max}) temperatures at selected stations during 1951–2006

Tabela 5. Liczba stacji, na których zmiany najwyższej i najniższej temperatury w latach 1951–2006 były istotne statystycznie ($p < 0,05$)

Table 5. The number of stations where the change in the highest and lowest air temperature during 1951–2006 was statistically significant ($p < 0.05$)

Tempera- tura/ Temperature	Miesiące/Months												Rok/ Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Najniższa/ Lowest	1	6	6	1	15	4	9	7	9	0	0	0	3
Najwyższa/ Highest	11	11	4	0	7	1	0	3	13	0	0	0	10

6. Wieloletnie zmiany liczby dni ze skrajną temperaturą powietrza ($\leq T_{10p}$ i $\geq T_{90p}$)

Jak wcześniej wspomniano, występują bardzo duże różnice między zanotowaną na danej stacji najniższą/najwyższą temperaturą powietrza a wartością 10/90 percentyla temperatury minimalnej/maksymalnej (tab. 2). Z tego powodu zbadano wieloletnią zmienność liczby dni, w których temperatura minimalna/maksymalna była niższa/wyższa od 10/90 percentyla rozpatrywanych wartości temperatury. Oznaczono je odpowiednio symbolami $\leq T_{10p}$ i $\geq T_{90p}$.

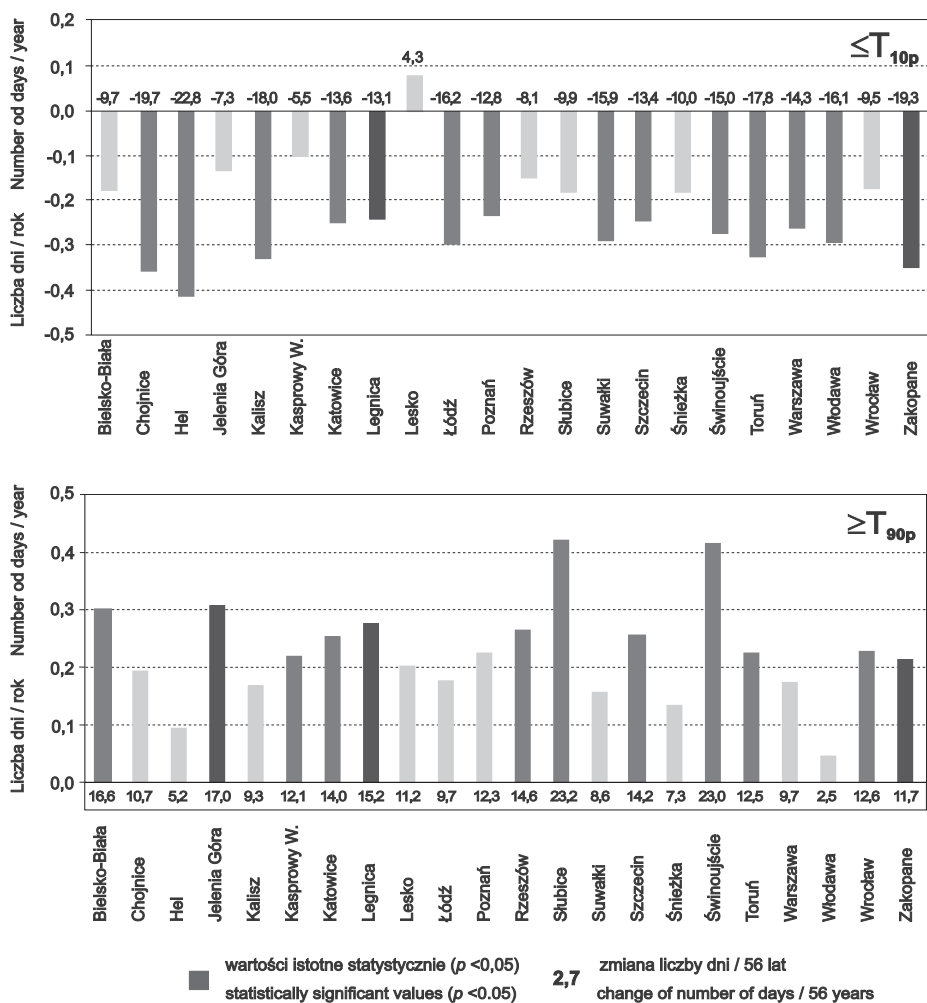
Wieloletnie zmiany liczby dni, w których zostały spełnione wspomniane kryteria były bardzo zbliżone na wszystkich stacjach; współczynniki korelacji przekraczały 0,7 i większości przypadków osiągnęły nawet wartości powyżej 0,9 ($p < 0,05$).

W rozpatrywanym wieloleciu liczba dni z $\leq T_{10p}$ zmniejszała się na wszystkich stacjach. Jedynym wyjątkiem była stacja w Lesku, na której odnotowano niewielki (4,3 dnia/56 lat) i nieistotny statystycznie wzrost liczby tych dni. Na 14 z pozostałych 21 stacji spadek ten był istotny statystycznie ($p < 0,05$) i wynosił od 12,8 dnia w Poznaniu do 22,8 dnia w Helu (ryc. 7).

Wieloletnie zmiany liczby analizowanych dni wskazują także na istnienie bardzo wyraźnych i dość regularnie powtarzających się okresów wzrostu i spadku na wszystkich stacjach (ryc. 8). Zwykle ich długość (liczba lat między kolejnymi lokalnymi maksimami) wynosiła od 5 do 10 lat. Okresy te wyraźniej zaznaczały się przede wszystkim na stacjach położonych na północy kraju. Na południu natomiast przebieg ten był bardziej wyrównany, i w Zakopanem, Lesku czy na Kasprowym Wierchu wystąpiło jedynie 3 do 4 okresów ze zwiększoną liczbą dni z $\leq T_{10p}$. Najmniejszą roczną liczbę rozpatrywanych dni zanotowano w 1974 lub 1989 r. oraz w 1990 r. Wahała się ona od 4 do 9 dni i jedynie w Rzeszowie wyniosła 11 w 1989 r. Największa liczba dni skrajnie chłodnych ($\leq T_{10p}$) występowała na początku badanego wielolecia, głównie w 1963 r. (od 67 w Zakopanem do 88 w Kaliszu).

Liczba dni z temperaturą maksymalną wyższą od wartości 90 percentyla ($\geq T_{90p}$) wykazywała tendencję rosnącą na wszystkich analizowanych stacjach (ryc. 7) i na 12 z nich była ona istotna statystycznie ($p < 0,05$). W tych przypadkach liczba tych dni wzrosła od 11,7 w Zakopanem do 23,2 w Słubicach.

Wieloletni przebieg liczby dni z $\geq T_{90p}$ różni się znacznie od zmian liczby dni z $\leq T_{10p}$. Wyraźniej też zaznaczają się różnice między stacjami. Uogólniając, rozpatrywane wielolecie można podzielić na dwa okresy – przed i po 1980 r. (ryc. 9). W pierwszym z nich dominują dość niewielkie zmiany liczby najcieplejszych dni z roku na rok. W okresie tym, na większości stacji, liczba dni waha się od ok. 20 do ok. 40 rocznie. Trudno jest jednoznacznie wskazać lata, w których na wszystkich stacjach wystąpiła wyraźnie większa liczba tych dni. Można jedynie stwierdzić, że takie lokalne maksima występowały około 1970 r. na stacjach położonych w zachodniej części kraju,



Ryc. 7. Tendencje zmian liczby dni z temperaturą minimalną niższą od wartości 10 percentyla ($\leq T_{10p}$) i temperaturą maksymalną wyższą od wartości 90 percentyla ($\geq T_{90p}$) w latach 1951–2006
 Fig. 7. Trends of change in the number of days with a minimum temperature lower than the value of the 10th percentile ($\leq T_{10p}$) and a maximum temperature higher than the value of the 90th percentile ($\geq T_{90p}$) during 1951–2006

około 1965 r. w pasie od Helu do Zakopanego oraz około 1960 r. we wschodniej, a szczególnie południowo-wschodniej Polsce. Po 1980 r., w którym na większości stacji była najmniejsza liczba dni z $\geq T_{90p}$ (od 8 do 15 w roku), nastąpił wyraźny jej wzrost. Można również zauważyć, że na większości stacji wzrost ten został przedzie-

lony dwoma kilkuletnimi okresami mniejszej liczby tych dni. Największa liczba dni $z \geq T_{90p}$ wystąpiła pod koniec badanego wielolecia, głównie w 2002 i 2003 r. Poza Łodzią było to ponad 60 dni w roku, a w Świnoujściu, we Włodawie, w Zakopanem i na Kasprowym Wierchu – 70 lub więcej. Najwięcej – 81 dni – było w 2002 roku w Suwałkach.

Na tle uogólnionego przebiegu zmian liczby dni $z \geq T_{90p}$ wyróżnia się kilka stacji. Są to przede wszystkim Szczecin i Słubice oraz Legnica i Jelenia Góra, na których wzrost liczby takich dni jest widoczny od początku badanego wielolecia. Drugą grupę stacji stanowią Hel, Włodawa i Lesko, na których liczba tych dni waha się wokół tego samego poziomu przez całe omawiane wielolecie.

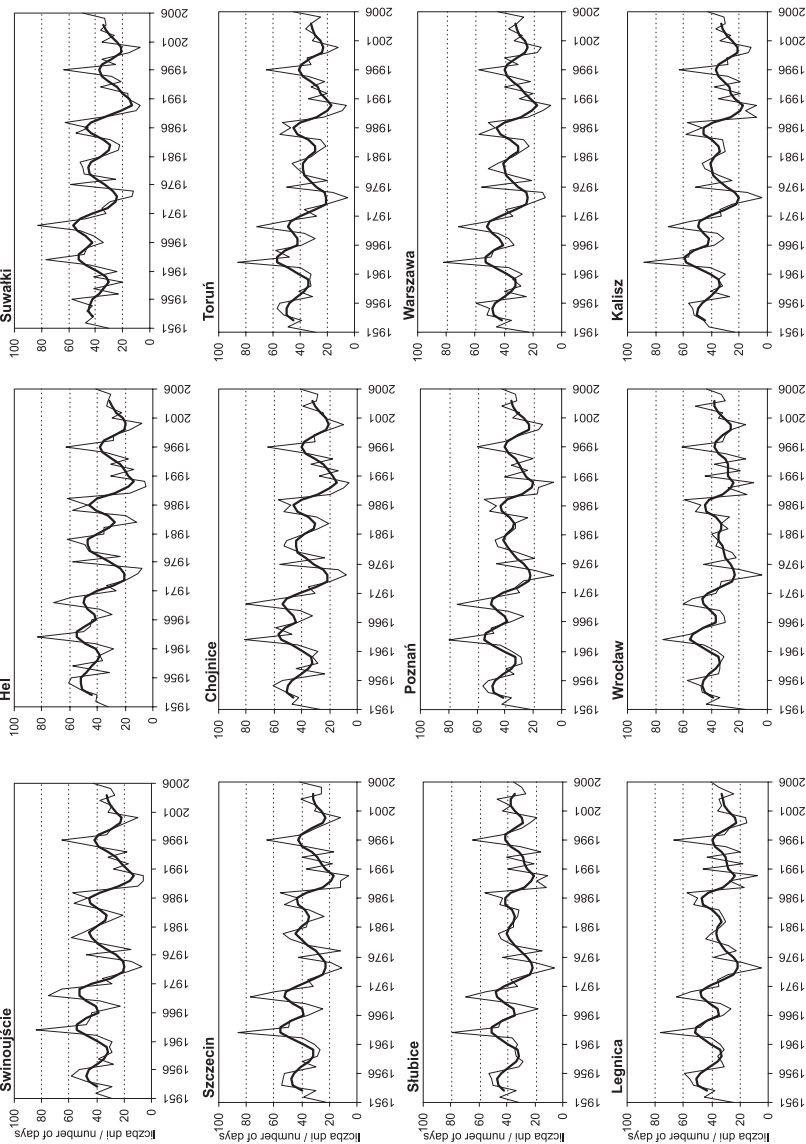
W poszczególnych miesiącach zwykle liczba dni najchłodniejszych ($\leq T_{10p}$) malała od początku badanego wielolecia, a wyjątkowo ciepłych ($\geq T_{90p}$) wzrastała. W około 22% przypadków są to spadki istotne statystycznie ($p < 0,05$) i zwykle dotyczą pojedynczych miesięcy na każdej ze stacji. W przypadku zmiany liczby dni $z \leq T_{10p}$ jedynie w Helu (8 miesięcy), Zakopanem (7), Jeleniej Górze i Kaliszu (5) oraz w Szczecinie (4) istotny spadek wystąpił w ciągu 4 lub więcej miesięcy. Miesiącem najbardziej wyróżniającym się był maj, w którym spadek na 12 stacjach był istotny statystycznie na poziomie 0,05 (tab. 6). W ciągu rozpatrywanego wielolecia istotne zmiany liczby badanych dni zachodziły na większej liczbie stacji również w lipcu i we wrześniu (na 9 stacjach) oraz w lutym (na 8 stacjach).

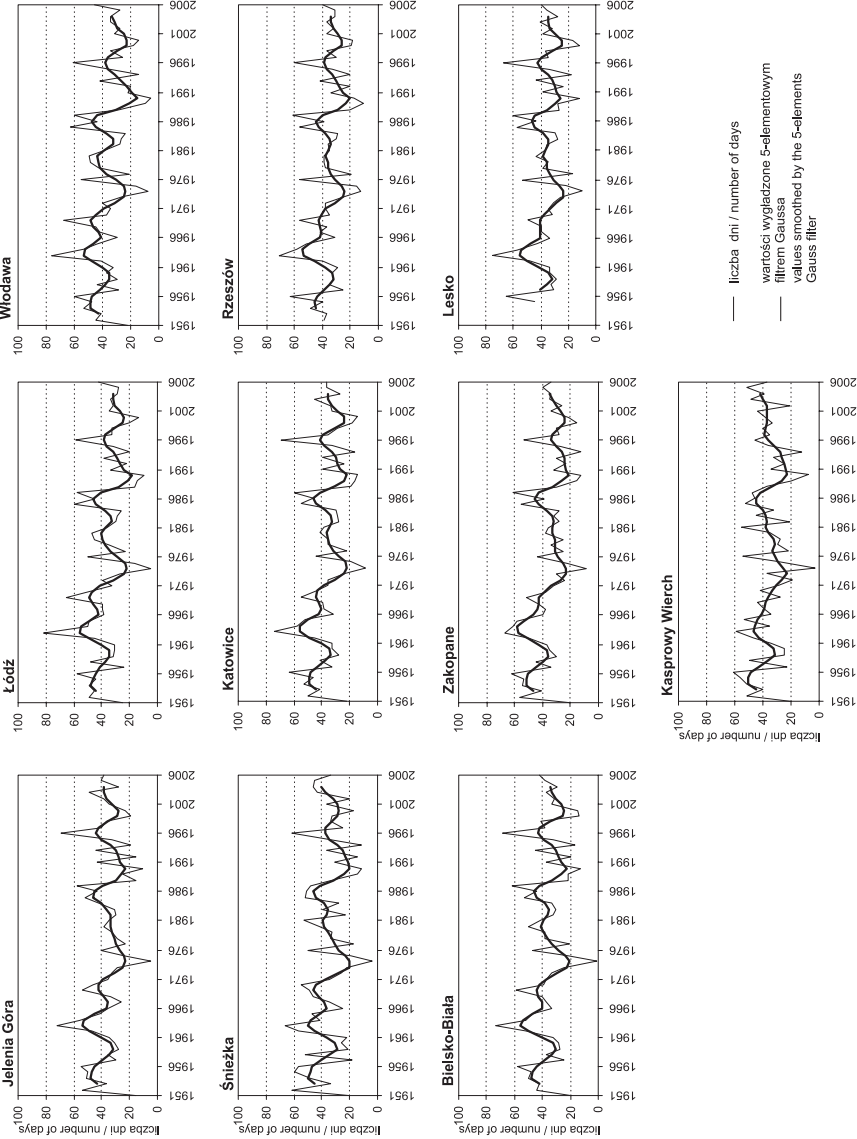
Podobnie jak w całym roku, liczba dni wyjątkowo ciepłych ($\geq T_{90p}$) w poszczególnych miesiącach zwykle wzrastała. Ich wartości wahały się od kilku dni przed rokiem 1980 do około 20 dni w miesiącu pod koniec wielolecia. Istotne statystycznie zmiany zachodziły przede wszystkim w styczniu (na 19 stacjach) i lutym (10) oraz w maju (9) i lipcu (7) (tab. 6). Tak wyraźne zmiany zachodziły częściej niż w trzech miesiącach jedynie w Słubicach (w 6 miesiącach), Szczecinie i Świnoujściu (5) oraz na Kasprowym Wierchu (4).

Tabela 6. Liczba stacji, na których zmiany liczby dni z temperaturą niższą od wartości 10 percentyla temperatury minimalnej ($\leq T_{10p}$) oraz wyższą od wartości 90 percentyla temperatury maksymalnej ($\geq T_{90p}$) były istotne statystycznie ($p < 0,05$) w latach 1951–2006

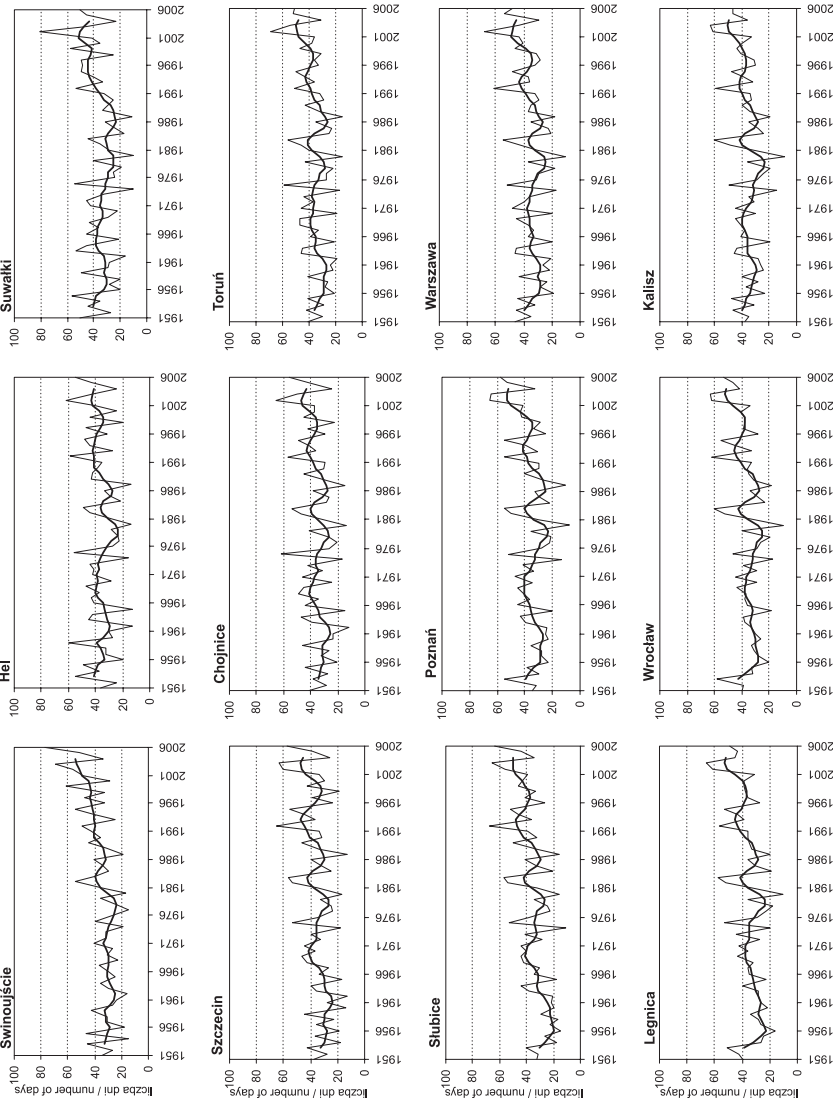
Table 6. The number of stations where the change in the number of days with a temperature lower than the value of the 10th percentile temperature minimum ($\leq T_{10p}$) and higher than the value of the 90th percentile temperature maximum ($\geq T_{90p}$) were statistically significant ($p < 0.05$) during 1951–2006

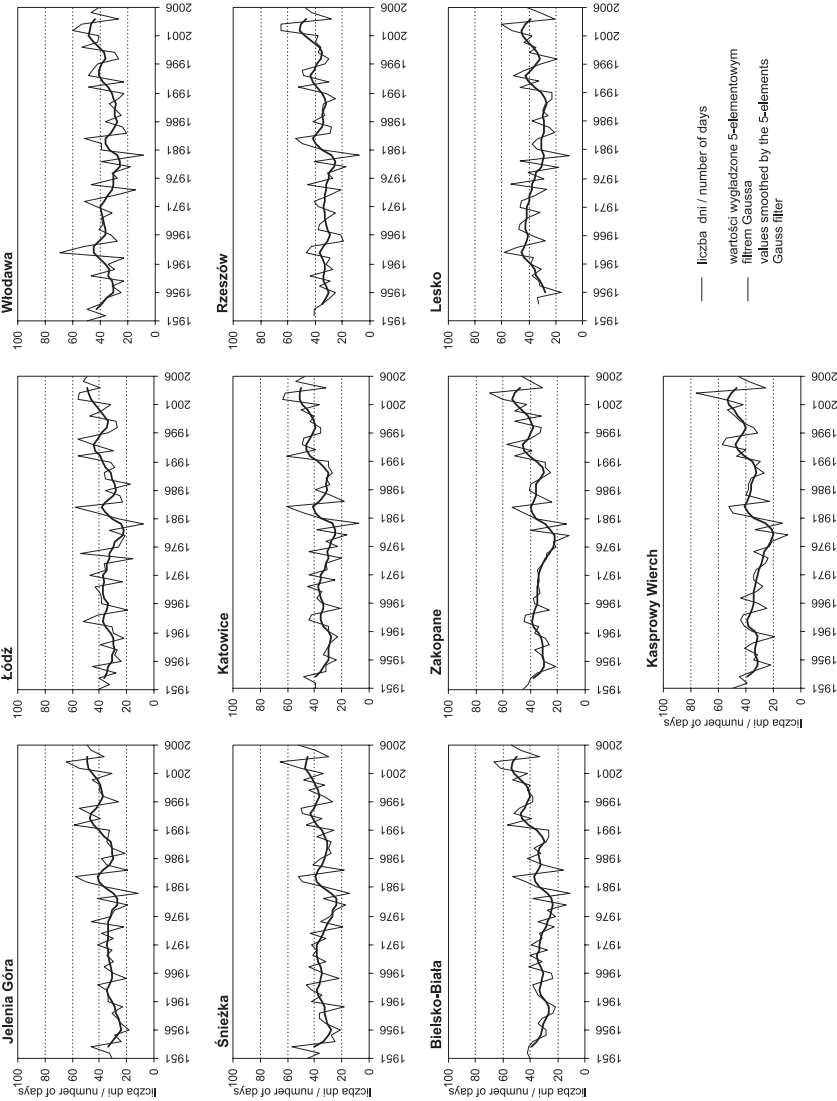
Temperatura/ Temperature	Miesiące/Months												Rok/ Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
$\leq T_{10p}$	1	8	6	1	12	3	9	6	9	0	0	0	14
$\geq T_{90p}$	19	10	0	0	9	2	7	4	0	3	0	0	12





Ryc. 8. Liczba dni z temperaturą minimalną niższą od wartości 10 percentyla (T_{top}) w latach 1951–2006
Fig. 8. The number of days with a minimum temperature lower than the value of the 10th percentile (T_{top}) during 1951–2006



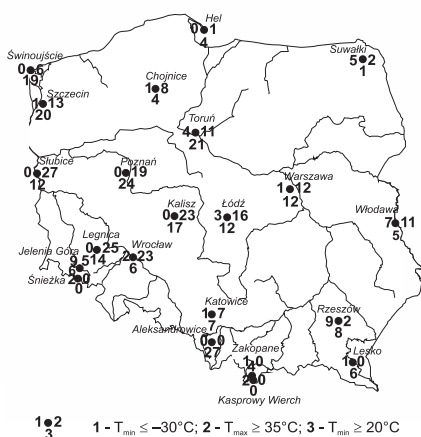


Ryc. 9. Liczba dni z temperaturą maksymalną wyższą od wartości 90 percentyla (T_{90p}) w latach 1951–2006
Fig. 9. The number of days with a maximum temperature higher than the value of the 90th percentile (T_{90p}) during 1951–2006

7. Dni niezwykle mroźne ($T_{\min} \leq -30^{\circ}\text{C}$), bardzo upalne ($T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$) i noce gorące ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$)

Uzupełnieniem charakterystyki częstości dni ze skrajnie niską lub wysoką temperaturą powietrza jest zbadanie występowania dni niezwykle mroźnych i bardzo upalnych oraz nocy gorących. Pierwsze z nich definiowane są jako dni z temperaturą minimalną niższą lub równą -30°C , drugie natomiast jako dni z temperaturą maksymalną wyższą lub równą 35°C .

Na obszarze Polski rzadko występują warunki pogodowe sprzyjające występowaniu bardzo niskiej temperatury. Średnia liczba dni bardzo mroźnych ($T_{\max} \leq -10^{\circ}\text{C}$) w roku wahała się od 0 na wybrzeżu i 1 dnia w zachodniej części kraju do ponad 4 w części północno-wschodniej. Jedynie w obszarach górskich ich liczba przekraczała ponad 10 rocznie (Lorenc 2005). Jeszcze rzadziej temperatura powietrza spada poniżej -30°C . Na wszystkich uwzględnionych w opracowaniu stacjach dni niezwykle mroźnych ($T_{\min} \leq -30^{\circ}\text{C}$) wystąpiło niewiele – zaledwie 51 w całym wieloleciu i tylko w 9 latach. Na 8 stacjach nie było ich ani razu, a na 5 tylko jeden dzień (ryc. 10).



Ryc. 10. Liczba dni niezwykle mroźnych ($T_{\min} \leq -30^{\circ}\text{C}$), bardzo upalnych ($T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$) i nocy gorących ($T_{\min} \geq 20,0^{\circ}\text{C}$) w latach 1951–2006
Fig. 10. The number of extremely cold days ($T_{\min} \leq -30^{\circ}\text{C}$), extremely hot days ($T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$) and hot nights ($T_{\min} \geq 20,0^{\circ}\text{C}$) during 1951–2006

Temperatura taka najczęściej występowała w Jeleniej Górze i Rzeszowie (9 razy) oraz we Włocławku (7 razy). Było to związane nie tylko z sytuacją synoptyczną sprzyjającą występowaniu niskiej temperatury, ale również z położeniem stacji we wklęsłych formach terenu.

Jeśli już wystąpiły dni z $T_{\min} \leq -30^{\circ}\text{C}$ to dość często utrzymywały się przez 2–3 dni. Na tym tle wyróżniał się r. 1963, w którym w 10 dniach temperatura minimalna była niższa lub równa -30°C , w tym w 5 kolejnych – od 16 do 20 stycznia.

Sytuacje synoptyczne sprzyjające występowaniu tak niskiej temperatury były związane z rozległymi i stacjonarnymi wyżami. Najczęściej swoim zasięgiem obejmowały one całą Polskę, a ich centrum znajdowało się najczęściej nad Rosją, Skandynawią lub Europą Środkową. W nielicz-

nych przypadkach, gdy centrum wyżu było zlokalizowane dalej od Polski, obszar kraju znajdował się pod wpływem klina wysokiego ciśnienia. Sytuacjom tym najczęściej towarzyszyło silne wypromieniowanie ciepła oraz adwekcja mroźnych mas powietrza arktycznego lub polarnego kontynentalnego ze wschodu i północnego wschodu. Dokładne opisy najważniejszych przypadków, wraz z bogatym materiałem ilustracyjnym, można znaleźć w pracy Ustrnula i Czekierdy (2009).

Typy cyrkulacji sprzyjające występowaniu bardzo wysokiej temperatury pojawiają się znacznie częściej niż w przypadku temperatury wyjątkowo niskiej. Świadczy o tym liczba dni upalnych, która na większości obszaru Polski przekracza 4 dni rocznie i waha się od około 2 na północnych i południowych krańcach kraju do ponad 8 dni w rejonie Słubic (Lorenc 2005). W rozpatrywanym wieloleciu na uwzględnionych w analizie stacjach dni bardzo upalnych ($T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$) było 219 w ciągu 56 dni. Najczęściej występowały one w Wielkopolsce i na Nizinie Śląskiej (od 19 w Toruniu i Poznaniu do 27 w Słubicach). We wschodniej części kraju, charakteryzującej się większym stopniem kontynentalizmu klimatu, dni takie pojawiały się rzadziej i w badanym okresie było ich 11 dni we Włodawie i 12 w Warszawie (ryc. 10). W Rzeszowie i Suwałkach natomiast tylko dwukrotnie odnotowano temperaturę większą bądź równą 35°C . Jest to związane z lokalizacją tych stacji (w formie wklęsłej Pogórza Karpackiego oraz na północno-wschodnich krańcach Polski), a także z odmiennymi cechami cyrkulacji atmosfery na obszarach, w których są one położone. Na stacjach zlokalizowanych na południu kraju dni takie nie wystąpiły.

Ponad 50% dni z $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ wystąpiło w lipcu (30 dni), około 40% w sierpniu (22 dni), a w czerwcu zaledwie 4 dni. Podobnie jak w przypadku dni niezwykle mroźnych, temperatura $\geq 35^{\circ}\text{C}$ występowała pojedynczo lub w 2–3 kolejnych dniach. Dość często jednak tworzyły one dłuższy ciąg dni przedzielonych 1–2 dniami o nieco niższej temperaturze. Pod tym względem najbardziej wyróżnia się okres od 26 lipca do 2 sierpnia 1994 r., kiedy jedynie 27 lipca temperatura nie osiągnęła 35°C .

Typy cyrkulacji atmosfery, jakie występowały w dniach bardzo upalnych, były nieco bardziej zróżnicowane niż w przypadku dni niezwykle mroźnych, wyraźnie jednak dominowały układy wysokiego ciśnienia. Najczęściej swoim zasięgiem obejmowały Europę Środkową lub/i Wschodnią, z czym była związana piękna, słoneczna pogoda lub też adwekcja gorącego powietrza z sektora południowego. Innym, często występującym typem cyrkulacji były układy niskiego ciśnienia położone na zachód, północny zachód czy nawet na północ od Polski. Jednocześnie na południe lub na wschód od Polski rozpościerała się strefa podwyższonego ciśnienia. W wyniku takiego rozkładu układów barycznych nad Polskę napływało gorące powietrze z zachodu lub sektora południowego, a znaczna część kraju znajdowała się w rozległym ciepłym wycinku niżu. W większości opisywanych przypadków były to masy powietrza zwrotnikowego lub polarnego kontynentalnego.

Do ekstremalnych dni, choć bardziej odpowiednie byłoby sformułowanie „ekstremalnych nocy” zalicza się w Polsce takie, w których temperatura minimalna powietrza jest wyższa lub równa 20,0°C. Nazywa się je nocami gorącymi lub tropikalnymi (Kossowska-Cezak, Skrzypczuk 2011; Twardosz 2009). Bardzo rzadko były one przedmiotem analizy w polskiej literaturze klimatologicznej. Pisał o nich Chełchowski (1963, 1967, 1968), uwzględniając konkretne przypadki i dane z kilkunastu stacji w Polsce, oraz Chełchowski i in. (1970), analizując występowanie takich nocy w Polsce i Czechosłowacji w latach 1951–1965. Piotrowicz (2007b, 2009) przedstawiła natomiast wieloletnie różnicowanie liczby nocy gorących w Krakowie na podstawie serii pomiarowej z lat 1901–2006. Oczywiście jedną z głównych przyczyn małego zainteresowania nocami gorącymi w Polsce jest stosunkowo rzadkie ich występowanie. Termin ten nie znalazł się nawet w *Słowniku meteorologicznym* (Niedźwiedź 2003). W ostatnich latach noce gorące zaczęły się pojawiać jednak coraz częściej (Piotrowicz 2007b; Kossowska-Cezak, Skrzypczuk 2011; Twardosz 2009). Analiza ich występowania i zmienności w wieloleciu może być nie tylko przyczynkiem do poznania stosunkowo mało znanej cechy klimatu Polski, ale może również mieć znaczenie praktyczne w wielu dziedzinach życia, w tym także dla zdrowia i samopoczucia człowieka.

W wieloleciu 1951–2006 na 22 rozpatrywanych stacjach wystąpiło łącznie 229 nocy gorących. Najczęściej występowały one w lipcu (50,2%) i sierpniu (38,5%). Potencjalny okres ich występowania był jednak dłuższy. Pojawiały się one również w czerwcu (10,0%), a nawet w maju (1,3%) (tab. 7).

Największą liczbę nocy z $T_{\min} \geq 20,0^{\circ}\text{C}$ zanotowano w Bielsku–Białej (27 dni), nie występowały one natomiast na stacjach położonych powyżej 1000 m n.p.m., czyli na Śnieżce i Kasprowym Wierchu. Regionalne różnicowanie liczby nocy z $T_{\min} \geq 20,0^{\circ}\text{C}$ przedstawiono na rycinie 10 i, jak można zauważyć, najczęściej występowały one w zachodniej i środkowej części kraju.

Rozpatrując wieloletnią zmienność nocy gorących na stacjach, w których wystąpiło ich najwięcej, można stwierdzić, że od lat 80. ich liczba stopniowo wzrasta (ryc. 11). Wprawdzie nie pojawiają się one każdego roku, ale zdecydowanie częściej niż w latach 50., 60. czy 70. XX w.

Dowodem na wzrastającą częstość nocy gorących jest również to, że na niektórych stacjach takie noce pojawiły się dopiero w latach 90. czy z początkiem XXI w. Przykładem może być Hel, gdzie od 1951 r. pierwsza noc z $T_{\min} \geq 20,0^{\circ}\text{C}$ wystąpiła dopiero w 1994 r. Warto również podkreślić, że w Helu w tym roku wystąpiły trzy takie noce, i to w jednym ciągu dni (od 30 lipca do 1 sierpnia 1994 r.). Innym przykładem są Suwałki, w których pierwszą i jedyną do 2006 r. nocą gorącą była noc z 16 lipca 2001 r.

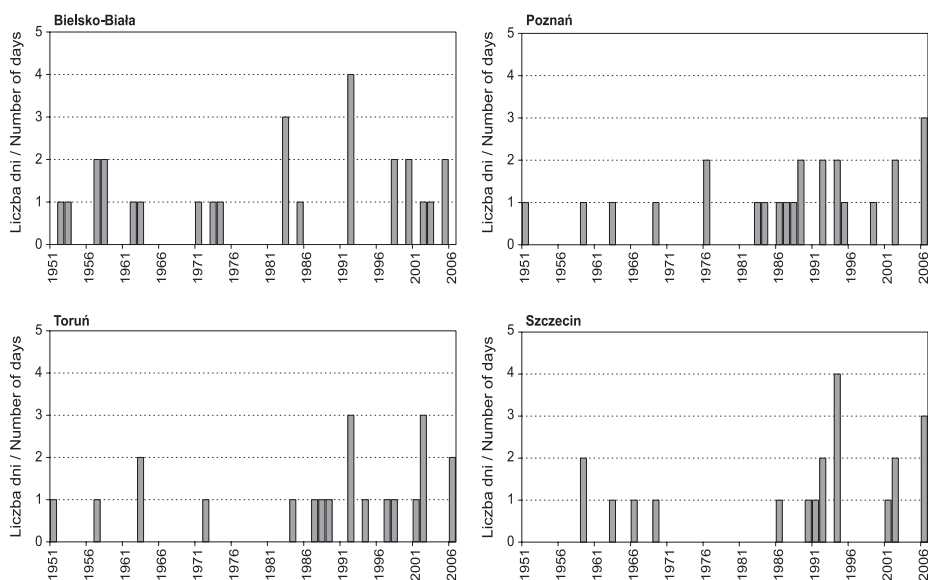
Najczęściej noce gorące pojawiają się jako pojedyncze przypadki w roku. Zdarzają się jednak lata, w których występuje ich kilka i to równocześnie na kilku stacjach.

Tabela 7. Liczba nocy gorących ($T_{\min} \geq 20,0^{\circ}\text{C}$) w latach 1951–2006Table 7. The number of hot nights ($T_{\min} \geq 20.0^{\circ}\text{C}$) during 1951–2006

Stacja/Station	Miesiące/Months					Największa liczba w roku/ The highest number of year
	V–VIII	V	VI	VII	VIII	
Bielsko-Biała	27	2	3	11	11	4 (1992)
Chojnice	4	–	1	–	3	2 (1963)
Hel	4	–	–	2	2	3 (1994)
Jelenia Góra	6	–	2	1	3	1 (w różnych latach)
Kalisz	17	–	–	10	7	4 (1994)
Kasprowy Wierch	0	–	–	–	–	–
Katowice	7	–	1	3	3	1 (w różnych latach)
Legnica	14	–	2	6	6	2 (1994 i 2006)
Lesko*	6	–	1	–	5	2 (1992)
Łódź	12	–		9	3	2 (1963, 1994, 2006)
Poznań	24	–	2	15	7	3 (2006)
Rzeszów**	8	–	1	4	3	2 (2005)
Słubice	12	–	2	5	5	2 (1971, 2002, 2006)
Śnieżka	0	–	–	–	–	–
Suwałki	1	–	–	1	–	1 (2001)
Świnoujście	19	–	1	12	6	5 (1994, 2006)
Szczecin	20	–	2	10	8	4 (1994)
Toruń	21	–	2	12	7	3 (1992, 2002)
Warszawa	12	–	1	7	4	2 (1963, 1972, 1994, 2002, 2006)
Włodawa	5	–	1	3	1	2 (2002)
Wrocław	6	–	1	4	1	2 (2006)
Zakopane	4	1	–	–	3	2 (1992)
Ogółem	229	3	23	115	88	28 (1994), 27 (2006), 23 (1992)

* dane od 1954 r./data from 1954, ** dane od 1952 r./data from 1952.

Pierwszą taką nocą, w której temperatura minimalna powietrza $\geq 20,0^{\circ}\text{C}$ objęła dużą część Polski (m.in. Śląsk i Wielkopolskę), była noc z 4 na 5 lipca 1957 r. Została ona szczególnie omówiona przez Chełchowskiego (1963). Temperatura minimalna tej nocy nie spadła poniżej 20°C na 6 stacjach, przy czym najwyższą wartość zanotowano w Bielsku-Białej i we Wrocławiu ($21,7^{\circ}\text{C}$).



Ryc. 11. Liczba nocy gorących ($T_{\min} \geq 20,0^{\circ}\text{C}$) na wybranych stacjach w latach 1951–2006

Fig. 11. The number of hot nights ($T_{\min} \geq 20.0^{\circ}\text{C}$) at selected stations during 1951–2006

Chęłchowski (1967) do wyjątkowych zaliczył również lato 1963 r. W roku tym najwcześniejsza noc gorąca wystąpiła z 28 na 29 czerwca. Objęła ona głównie południową i południowo-wschodnią część kraju (Bielsko-Białą, Lesko, Rzeszów i Włodawę). Najwyższą temperaturę minimalną zanotowano tej nocy w Rzeszowie ($20,9^{\circ}\text{C}$), a z danych Chęłchowskiego (1967) – w Przemyśle ($21,2^{\circ}\text{C}$). Przyczyną tak wysokiej temperatury była adwekcja powietrza zwrotnikowego, które w godzinach południowych napłynęło nad Polskę 27 czerwca (Chęłchowski 1967). Wystąpienie drugiej fali nocy gorących w 1963 roku – 23/24 i 24/25 lipca było skutkiem adwekcji mas powietrza polarne kontynentalnego (Chęłchowski 1967). Najcieplejszymi nocami lata 1963 roku były jednak te z początku sierpnia. Ponownie wystąpiła wówczas adwekcja powietrza zwrotnikowego. Najwcześniej tak wysoką temperaturę w nocy ($T_{\min} \geq 20,0^{\circ}\text{C}$) zanotowano z 2 na 3 sierpnia w północno-zachodniej części Polski, m.in. w Świnoujściu. Następnej nocy, z 3/4 sierpnia, wysoka temperatura panowała już na znacznym obszarze kraju, zwłaszcza na północnym-zachodzie (m.in. w Szczecinie, Chojnicach, Poznaniu, Toruniu). Kolejne noce gorące wystąpiły jeszcze w Łodzi i Warszawie 6/7 i/lub 7/8 sierpnia 1963 r.

W ciągu kolejnych 25 lat, od 1966 do 1990, noce gorące pojawiały się coraz częściej. Zwykle obejmowały niewielki obszar Polski i występowały na pojedynczych, najwyżej na dwóch stacjach równocześnie. Wyjątkiem były noce gorące z przełomu

dni: 16/17 lipca 1972, 27/28 lipca 1983, 11/12 lipca 1983, 23/24 lipca 1988 i 16/17 sierpnia 1989. Występowały równocześnie na 3 do 5 stacji, głównie zlokalizowanych w południowo-zachodniej i środkowej części Polski.

Do wyjątkowych pod względem częstości występowania nocy gorących należy zaliczyć lata 1992, 1994 i 2006. Ich wyjątkowy charakter objawiał się m.in. tym, że noce z $T_{\min} \geq 20,0^{\circ}\text{C}$ pojawiały się nawet w kilkudniowych ciągach i obejmowały dużą część Polski. Najwięcej, 5 takich nocy, wystąpiło w Świnoujściu w 1994 i 2006 r. (tab. 7). Aż dwie noce gorące wystąpiły w 1992 r. w Zakopanem, stacji położonej 855 m n.p.m. Nocą z 9 na 10 sierpnia 1992 r. temperatura minimalna nie spadła poniżej $20,0^{\circ}\text{C}$ aż na 9 z 22 stacji: w Szczecinie, Toruniu, Poznaniu, Łodzi, Legnicy, Kaliszu, Jeleniej Górze, Bielsku-Białej i Zakopanem. Najwyższą wartość osiągnęła w Jeleniej Górze ($25,4^{\circ}\text{C}$). Była to też najwyższa wartość temperatury minimalnej od 1951 r. na analizowanych stacjach.

Wyjątkowość 1994 r. polegała natomiast na tym, że noce gorące na kilku stacjach, w tym również położonych na Wybrzeżu (Hel, Świnoujście, Szczecin), pojawiały się przez kilka kolejnych dni, tworząc ciągi gorących dni i nocy. Najczęściej były to 3-dniowe ciągi na przełomie 29/30 lipca–31 lipca/1 sierpnia lub 30/31 lipca–1/2 sierpnia. Interesujące było także występowanie nocy gorących w 2006 r. Wprawdzie nie tworzyły już one ciągów dni, pojawiały się zwykle pojedynczo, ale na kilku stacjach (Legnicy, Łodzi, Poznaniu, Słubicach, Warszawie, Wrocławiu czy Świnoujściu) ich roczna liczba była największa od 1951 r. (tab. 7).

Przyczyną występowania w Polsce nocy gorących jest najczęściej adwekcja mas powietrza zwrotnikowego lub polarnego kontynentalnego (Chelchowski 1963, 1967; Chelchowski i in. 1970, Piotrowicz 2007b). Niekiedy jest ona wzmocniona przejściem frontu ciepłego. Nieco inną genezę miały noce gorące pojawiające się w maju. W latach 1951–2006 takich przypadków było tylko 3, dwa w Bielsku-Białej w 1983 r. i jeden w Zakopanem w 1958 r. Ich pojawienie się było bowiem związane z występującym w Tatrach wiatrem halnym i adiabatycznym wzrostem temperatury powietrza spływającego po północnych stokach gór. Z tego powodu tak ciepłe noce mogą występować w Polsce w maju jedynie na niżej położonych obszarach u podnóża gór, takich jak rejon Zakopanego czy Bielska-Białej.

Podsumowanie

Zmienność ekstremalnych wartości temperatury powietrza (średniej, maksymalnej i minimalnej) w Polsce nawiązuje do tendencji zmian warunków termicznych na obszarze całej Europy Środkowej.

W przebiegu wieloletnim zauważa się stopniowy wzrost temperatury powietrza, który zwykle był wyższy w przypadku zmian najniższych wartości temperatury.

Bardzo ciepłe okazały się lata i pory roku z przełomu XX i XXI w. W wielu przypadkach można je było zaliczyć do wartości ekstremalnych. Były to jednocześnie najwyższe wartości temperatury powietrza od początku pomiarów instrumentalnych. Zaznaczył się również wzrost liczby dni bardzo upalnych i spadek dni niezwykle mroźnych, który potwierdza obserwowane wcześniej tendencje zmiany liczby dni z wyjątkowo wysoką i niską temperaturą w Polsce (Limanówka 1999; Łupikasa, Bielec-Bąkowska 2004/2005; Cebulak, Limanówka 2007; Kaszewski i in. 2007; Bielec-Bąkowska, Łupikasa 2009).

Porównując wieloletnie zmiany wartości temperatury minimalnej i maksymalnej, można zauważyć, że w przypadku średnich wartości rocznych są one zawsze istotne statystycznie i wskazują na ocieplenie się klimatu rozpatrywanego obszaru. Jeżeli jednak rozważymy zmiany średnich wartości sezonowych czy miesięcznych oraz częstość występowania temperatury wyjątkowo niskiej lub wysokiej, to na znacznym obszarze kraju wielkości tych zmian nie są tak duże i w większości przypadków są nieistotne statystycznie. Potwierdzają to również wyniki badań wieloletniej zmienności ekstremalnych warunków termicznych w Małopolsce w drugiej połowie XX w. (Bielec-Bąkowska, Łupikasa 2007). Może to oznaczać, że mimo zaznaczającego się ocieplenia nie jest ono jeszcze aż tak duże, aby znalazło swoje odzwierciedlenie w zdecydowanej zmianie warunków ekstremalnych.

Dyskusyjna pozostaje sprawa przyczyn wieloletnich zmian warunków termicznych w Polsce. Wydaje się, że duży wpływ mają czynniki naturalne, głównie cyrkulacja atmosferyczna, które zostały wzmocnione przez antropopresję, m.in. miejską wyspę ciepła.

Podobnie jak np. Kożuchowski i Żmudzka (2001) warto też zastanowić się nad wzrostem maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza – czy jest on trwały, czy jest to tylko kilkunastoletnia oscylacja. Aby jednak odpowiedzieć na to pytanie oraz aby móc badać regionalne zróżnicowanie tendencji zmian temperatury, w tym głównie temperatur ekstremalnych, konieczna jest większa liczba stacji mających wieloletnie, homogeniczne serie pomiarów (Moberg, Jones 2005).

Praca została wykonana w ramach Projektu Zamawianego przez Ministerstwo Środowiska pod tytułem *Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne i hydrologiczne w Polsce (ocena zdarzeń oraz prognozowanie ich skutków dla środowiska życia człowieka)*; PBZ-KBN-086/P04/2003.

Literatura

- Alexander L.V., Zhang X., Peterson T.C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D.B., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M., Vazquez-Aguirre J.L., 2006, *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*, J. Geophys. Res. 111: D05109. doi: 10.1029/2005JD006290.
- Bielec-Bąkowska Z., Łupikasa E., 2007, *Wieloletnia zmienność ekstremalnych warunków termicznych w południowej części Małopolski w drugiej połowie XX wieku*, [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), IGiGP UJ, Kraków, 287–295.
- Bielec-Bąkowska Z., Łupikasa E., 2009, *Frosty, freezing and severe freezing days and their synoptic implications in Małopolska, Southern Poland, 1951–2000*, Bulletin of Geography Physical Geography Series, 1, 39–62.
- Beniston M., Stephenson D.B., 2004, *Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions*, Glob Planet Change 44, 1–9.
- Brázdil R., Budíková M., Auer I., Böhm R., Cegnar T., Faško P., Lapin M., Gajić-Čapka M., Zaninović K., Koleva E., Niedźwiedz T., Ustrnul Z., Szalai S., Weber R.O., 1996, *Trends of maximum and minimum daily temperatures in Central and Southeastern Europe*, Int. J. Climatol, 16, 765–782.
- Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D., 2006, *Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from 1850*, J. Geophys. Res. 111, D12106.
- Brunetti M., Buffoni L., Maugeri M., Nanni T., 2000, *Trends of minimum and maximum daily temperatures in Italy from 1865 to 1996*, Theor. Appl. Climatol. 66, 49–60.
- Cebulak E., 1999, *Ryzyko występowania upałów w Polsce*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka*, Ogólnopolska konferencja naukowa, 4–6 listopada 1999, Łódź, 29–33.
- Cebulak E., Limanówka D., 2007, *Dni z ekstremalnymi temperaturami powietrza w Polsce*, [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), IGiGP UJ, 185–194.
- Chełchowski W., 1963, *Rzadki przypadek nocy gorącej („tropikalnej”) w Polsce*, Gaz. Obserwatora IMGW, 8, 3–5.
- Chełchowski W., 1967, *Jeszcze o nocach gorących w Polsce*, Gaz. Obserwatora IMGW, 9, 3–6.
- Chełchowski W., 1968, *Tropennächte nördlich der Sudeten und Karpaten*, Wetter und Leben, 7–8.
- Chełchowski W., Coufal L., Valovič Š., 1970, *Noce gorące w Czechosłowacji i Polsce na tle cyrkulacji atmosferycznej i charakteru podłoża*, Prace PIHM, 100, 185–193.
- Degirmendžić J., Kozuchowski K., Żmudzka E., 2004, *Changes of air temperature and precipitation in Poland in the period 1951–2000 and their relationship to atmospheric circulation*, Int. J. Climatol. 24, 291–310.

- Frich P., Alexander L.V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Klein Tank A.M.G., Peterson T., 2002, *Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century*, Clim. Res. 19, 193–212.
- IPCC, 2001, 2007, *Climate change 2007: The physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jones P.D., Briffa K.R., Osborn T.J., Moberg A., Bergström H., 2002, *Relations between circulation strength and the variability of growing-season and cold-season climate in northern and central Europe*, Holocene 12, 643–656.
- Kaszewski B.M., Siwek K.W., Siłuch M., Gluza A.F., 2007, *Ekstremalne wartości wybranych charakterystyk termicznych w Lublinie (1951–2004)*, [w:] *Cywilizacja i żywioły*, J. Szkutnicki, U. Kossowska-Cezak, E. Bogdanowicz, M. Ceran (red.), PTG-of, IMGW, Warszawa, 118–126.
- Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B., Können G.P., Böhm R., Demarée G., Gocheva A., Miletta M., Pashiardis S., Hejkrlik L., Kern-Hansen C., Heino R., Bessemoulin P., Müller-Westermeier G., Tzanakou M., Szalai S., Pálsdóttir T., Fitzgerald D., Rubin S., Capaldo M., Maugeri M., Leitass A., Bukantis A., Aberfeld R., Van Engelen A.F.V., Forland E., Mielus M., Coelho F., Mares C., Razuvaev V., Nieplova E., Cegnar T., Antonio López J., Dahlström B., Moberg A., Kirchhofer W., Ceylan A., Pachaliuk O., Alexander L.V., Petrovic P., 2002, *Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment*, Int. J. Climatol. 22, 1441–1453.
- Klein Tank A.M.G., Können G.P., 2003, *Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–1999*, J. Climate 16(22), 3665–3680.
- Kossowska-Cezak U., 2003, *Współczesne ocieplenie a częstość dni charakterystycznych*, Balneologia Polska, 45, 1–2, 92–100.
- Kossowska-Cezak U., 2005, *Współczesne ocieplenie a codzienne wartości temperatury średniej dobowej w Warszawie*, [w:] *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki (red.), IMGW, Warszawa, 64–69.
- Kossowska-Cezak U., Skrzypczuk, 2011, *Pogoda upalna w Warszawie (1947–2010)*, Prace i Studia Geograficzne, 47, 139–146.
- Kożuchowski K. (red.), 1990, *Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Kożuchowski K., Degirmendžić J., Fortuniak K., Wibig J., 2000, *Trends to change in seasonal aspects of the climate in Poland*, Geogr. Pol. 73, 7–24.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, *Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku*, Przegl. Geofiz. 46 (1–2), 81–90.
- Kysely J., 2002, *Temporal fluctuations in heat waves at Prague–Klementinum, The Czech Republic, from 1901–97, and their relationships to atmospheric circulation*, Int. J. Climatol. 22, 33–50.
- Limanówka D., 1999, *Ryzyko występowania silnych mrozów w Polsce*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka*, Ogólnopolska konferencja naukowa, 4–6 listopada 1999, Łódź, 123–127.
- Lorenc H., 2005, *Atlas Klimatu Polski*, IMGW, Warszawa.

- Lorenc H., 2007, *Zmienność i tendencje maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza w Warszawie w okresie 1897–2002*, Wiad. IMGW 1 (51), 4, 3–32.
- Łupikasza E., Bielec-Bąkowska Z., 2004/2005, *Synoptyczne uwarunkowania dni ekstremalnych pod względem termicznym w Małopolsce*, Folia Geogr., ser. Geogr.-Phys., 35–36, 93–112.
- Michalska B., 2011, *Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce*, Prace i Studia Geograficzne, 47, 67–75.
- Moeborg A., Jones P.D., 2005, *Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in Central and Western Europe analyzed 1901–1999*, Int. J. Climatol. 25, 1149–1171.
- Moeborg A., Jones P.D., Lister D., Walther A., Brunet M., Jacobeit J., Alexander L.V., Della-Marta P.M., Luterbacher J., Yiou P., Chen D., Klein Tank A.M.G., Saladić O., Sigró J., Aguilar E., Alexandersson H., Almarza C., Auer I., Barriendos M., Begert M., Bergström H., Böhm R., Butler C.J., Caesar J., Drebs A., Founda D., Gerstengarbe F.-W., Micela G., Maugeri M., Österle H., Pandzic K., Petrakis M., Srnc L., Tolasz R., Tuomenvirta H., Werner P.C., Linderholm H., Philipp A., Wanner H., Xoplaki E., 2006, *Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901–2000*, J. Geophys. Res. 111, D22106, doi:10.1029/2006JD007103.
- Niedźwiedz T. (red.), 2003, *Słownik meteorologiczny*, PTG-of, IMGW, Warszawa.
- Niedźwiedz T., 2009, *Kalendarz sytuacji synoptycznych dla dorzecza górnej Wisły. Plik komputerowy dostępny w Katedrze Klimatologii*, Wydż. Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec.
- Piotrowicz K., 2002–2003, *Warunki termiczne zim w Krakowie w latach 1792–2002*, Folia Geogr., Ser. Geogr.-Phys., 33–34, 67–88.
- Piotrowicz K., 2003, *Variation des conditions biotermiques defavorables a Cracovie*, Dok. Geogr. 29, 285–288.
- Piotrowicz K., 2005a, *Ekstremalne warunki termiczne w Krakowie*, [w:] *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki (red.), PTG-of, IMGW, Warszawa, 89–96.
- Piotrowicz K., 2005b, *Dynamika zmian warunków termicznych Krakowa i ich wpływ na środowisko przyrodnicze i gospodarczą działalność człowieka*, [w:] *Hydrologia, meteorologia, klimatologia – badania naukowe i prognozy w erze informatyzacji*, M. Ozga-Zielińska, D. Limanówka (red.), PTG-of, IMGW, Warszawa, 128–135.
- Piotrowicz K., 2007a, *Temperatura powietrza*, [w:] *Klimat Krakowa w XX wieku*, D. Matuszko (red.), IGiGP UJ, Kraków, 99–112.
- Piotrowicz K., 2007b, *Wieloletnie zróżnicowanie nocy gorących w Krakowie*, [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), IGiGP UJ, Kraków, 279–286.
- Piotrowicz K., 2009, *The occurrence of unfavorable thermal conditions on human health in Central Europe and potential climate change impacts: An example from Cracow, Poland*, Environmental Management 44, 766–775, doi 10.1007/s00267-009-9357-x.
- Schönwiese C.D., Rapp J., Fuchs T., Denhard M., 1994, *Observed climate trends in Europe 1891–1990*, Meteorol. Zeit. 3, 22–28.

- Twardosz R., 2009, *Fale niezwyklejch upałów w Europie na początku XXI wieku*, Przegląd Geofizyczny, 54, 3–4, 193–204.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2009, *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, IMGW, Warszawa.
- Wibig J., Głowicki B., 2002, *Trends of minimum and maximum temperature in Poland*, Clim. Res. 20, 123–133.
- Yan Z., Jones P.D., Davies T.D., Moberg A., Bergström H., Camuffo D., Cocheo C., Maugeri M., Demarée G.R., Verhoeve T., Thoen E., Barriendos M., Rodríguez R., Martín-Vide J., Yang C., 2002, *Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations*, Clim. Change 53, 355–392.
- Żmudzka E., 2009, *Współczesne zmiany klimatu Polski*, Acta Agrophysica, 13(2), 555–568.

Zuzanna Bielec-Bąkowska
Katedra Klimatologii, Uniwersytet Śląski
ul. Będzińska 60
41–200 Sosnowiec
zuzanna.bielec-bakowska@us.edu.pl

Katarzyna Piotrowicz
Zakład Klimatologii
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Jagielloński
ul. Gronostajowa 7
30–387 Kraków
k.piotrowicz@uj.edu.pl